

Sérgio Leonardo Nhapulo

Vento Como Fonte Alternativa de Energia do Futuro Para a Província de Gaza

Licenciatura em Ensino de Física

Universidade Pedagógica

Xai-Xai , Abril de 2010

Sérgio Leonardo Nhapulo

Vento Como Fonte Alternativa de Energia do Futuro Para a Província de Gaza

Monografia Científica apresentada ao Departamento de Física, Delegação de Gaza, no âmbito da obtenção do grau de licenciatura.

Supervisores:

— dr. Jonatane Matias Macie

— dr. Nordino Mungoi

Co-supervisor

— Professor Doutor Mário Suarte Baloi

Universidade Pedagógico
Xai-Xai, Abril de 2010

Declaração de Honra

Declaro que este trabalho de diploma é resultado da minha investigação pessoal e das orientações dos meus supervisores, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico.

Xai-Xai, aos 14 de Abril de 2010

(Sérgio Leonardo Nhapulo)

Dedicatória

A presente monografia dedico ao meu pai Leonardo Nhapulo pelo carinho que me tem dado para a continuação com os estudos assim como à minha filha Meyva Suénia Sérgio Nhapulo e a Minha namorada Donia Luís Nhaia e faço votos para que tenham muita saúde e tudo o que há de bom na vida.

Agradecimentos

É com muito amor que expresso o meu maior reconhecimento aos meus supervisores dr. Jonatane Matias Macie, dr. Nordino Mungoi e Professor Doutor Mário Suarte Baloi pela paciência e dedicação que exibiram em mim durante a produção desta monografia.

A mesma gratidão gostava de lançar aos docentes da Universidade Pedagógica Delegação de Gaza, em particular realce aos docentes do Curso de Física que de forma sábia colaboram na formação de um futuro professor não muito menos prático.

Com viva voz gostava de agradecer aos meus companheiros da trincheira que compõem o grupo que apelidamos pelo nome de “grupo da sorte” (são eles: Arão Saia, Enércio Cofe, Ernício Saveca, dr. Eduardo Munguambe, Hélio Nghanhane e Isabel Macie) pela amizade e irmandade que têm prestado comigo. Agradeço também ao meu amigo Geraldo por me ter ajudado na impressão deste trabalho.

Um muito obrigado vai em especial aos meus irmãos Alcídio Leonardo, Arlindo Leonardo e Hermenegildo Leonardo pelo apoio moral, financeiro e material durante os últimos 5 anos.

Em fim, com esta oportunidade, gostaria também de agradecer a todos que directa ou indirectamente participaram e apoiaram-me na elaboração desta monografia.

Resumo

A geração de energia eléctrica através da utilização da energia dos ventos tem avançado substancialmente nos últimos anos em países emergentes.

Este trabalho reflecte de forma geral, uma pesquisa realizada no campus da Universidade Pedagógica Delegação de Gaza no sentido de encontrar um instrumento alternativo de geração de electricidade a partir de uma unidade eólica construída com base no material de baixo custo. Portanto, este trabalho é dividido em sete partes principais a saber: introdução, referencial teórico, metodologia, apresentação e análise de dados, interpretação dos dados, conclusão e sugestões. Entretanto, nestes itens constam os objectivos, o motivo de se ter que abordar este tema, as ideias teóricas que sustentam a construção do protótipo assim como a interpretação e análise dos dados, a metodologia usada (que por sinal é meramente experimental e bibliográfica devido a natureza da pesquisa), as discussões dos dados fornecidos pelo INAM e os medidos no sistema relativos a transformação da energia eólica em eléctrica e por último as ilações extraídas durante a observação do fenómeno e alternativas de como se pode adquirir maior quantidade de corrente eléctrica.

O aparelho ora construído gera energia eléctrica com base na energia eólica e é capaz de recarregar uma bateria de 6V, podendo assim esta energia ser usada para diversos fins (uso doméstico, uso laboratorial nas escolas,...) e o protótipo pode ser usado no PEA para mostrar o processo de transformação de energias na sala de aulas.

Índice	Pág.
I. Lista de figuras.....	11
II. Lista de tabelas	12
III. Lista dos gráficos	13
IV. Lista de símbolos e abreviaturas.....	14
1. Introdução	6
1.1. Tema	7
1.2. Delimitação da abordagem	7
1.3. Formulação do Problema.....	7
1.4. Objectivos.....	8
1.4.1. Objectivo geral	8
1.4.2. Objectivos específicos	8
1.5. Hipóteses e Variáveis	9
1.5.1. Hipóteses	9
1.5.2. Variáveis.....	9
1.5.2.1. Variável dependente	9
1.5.2.2. Variável independente	9
1.6. Importância do Tema.....	9
1.7. Motivação e Relevância Prática do Tema	10
2. Referencial teórico.....	11
2.1. O recurso eólico.....	11
2.1.1. Mecanismos de Geração dos Ventos.....	11
2.1.1.1. Tipos de Ventos	11
2.1.1.1.1 Ventos globais	11
2.1.1.1.2 Ventos de superfície	12
2.1.1.1.3 Ventos locais	12
2.1.2 Factores que influenciam a energia proveniente do vento	14
2.1.2.1 Densidade do ar	14
2.1.2.2 Área de varrimento do rotor	14
2.1.2.3 Distribuição da pressão no rotor.....	14
2.2. Energia e Potência Extraída do Vento	15
2.3. Tipos de Aerogeradores para Geração de Energia Eléctrica	20
2.3.1. Rotores de Eixo Vertical	20
2.3.2. Rotores de Eixo Horizontal	21

2.3.2.1. Pás, cubo e eixo	21
2.3.2.1.1. Torre	22
2.4. Aplicações dos Sistemas Eólicos.....	22
2.4.1. Sistemas Isolados.....	23
2.4.2. Sistemas Híbridos	24
2.4.3. Sistemas Interligados à Rede.....	24
3. Metodologia.....	25
3.1. Montagem do Aerogerador de Conchas	25
3.1.1. Materiais e peças usadas.....	25
3.1.2. Etapas da montagem do rotor	26
3.2. Grandezas físicas medidas.....	27
3.3. Tipo de pesquisa	27
3.4. Métodos Quantitativos de Investigação.....	28
3.5. Método de abordagem	28
3.6. Técnicas e instrumentos de recolha de dados.....	28
3.7. Área Geográfica de investigação.....	29
4. Apresentação dos Dados e sua Análise	30
4.1. Transformação da energia eólica em eléctrica	30
4.2. Dados relativos a velocidade do vento durante 2005 a 2009	31
4.2.1. Velocidade do Vento	31
4.2.2. Velocidade do Vento Durante a Semana.....	32
4.3. Variações da Tensão e da Intensidade durante o carregamento da bateria	33
4.4. Tensão e Intensidade médias adquiridas pela bateria.....	34
4.5. Potência gerada pelo sistema.....	35
5. Interpretação dos Resultados	35
5.1. Conversão de energia.....	35
5.2. Interpretação da velocidade do vento (2005-2009).....	35
5.2.1. Velocidade do vento com maior frequência.....	35
5.2.2. Teste de hipótese e determinação de intervalo de confiança.....	36
5.3. Relação entre a variação da velocidade do vento e da tensão	38
5.4. Relação entre a variação da velocidade do vento e da intensidade	39
5.5. Tensão e intensidade adquirida pela bateria.....	40

5.6. Potência	40
6. Conclusões	42
7. Recomendações, Sugestões e Dificuldades	43
8. Bibliografia.....	44
9. Anexo	45
10. Apêndice	46

I. Lista de figuras

Figura 1 – Brisas Marinhas ao dia (Fonte:Silva, 2005), pg.13

Figura 2 – Brisas Marinhas a noite (Fonte:Silva, 2005), pg.13

Figura 3 – Fluxo de ar através de uma área transversal **A** (Fonte: BRITO, 2008), pg.16

Figura 4 – Perdas de velocidade do vento na passagem por um conjunto de pás. (Fonte: BRITO, 2008), pg.17

Figura 5 – Distribuição de c_p em função de v_3 / v_1 (Fonte: BRITO, 2008), pg.18

Figura 6 – Principais forças actuantes em uma pá de aerogerador Fonte: Montezano, 2008, p.137), pg.19

Figura 7 – Características $c_p(\lambda, \beta)$ traçadas em função de aproximações numéricas (Fonte: Montezano, 2008), pg.20

Figura 8 – Configuração de um sistema eólico isolado (Fonte: BRITO, 2008) , pg.23

Figura 9 – Configuração do sistema eólico (aerogerador eléctrico de conchas) isolado, pg.27

Figura10 – Sistema de transformação da energia eólica em eléctrica, pg. 30

Figura 11: Carregamento da bateria de 6V, pg. 31

Figura12 – Quantidade de energia produzida a uma velocidade 17km/h, pg. 31

II. Lista de tabelas

Tabela 1: Característica do material, pg.25

Tabela 2: Média, moda, mediana erro padrão, variância, desvio padrão e coeficiente de Person da velocidade do vento (2005-2009), pg.32

Tabela 3: Média, moda e mediana da velocidade do vento entre os dias 18 e 24 de Janeiro de 2010, pg.33

Tabela 4: Variações da tensão e da intensidade adquiridas pela bateria entre os dias 18 e 24 de 01 de 2010, pg.34

Tabela 5: Média, mediana, desvio padrão da variação da tensão e da intensidade adquiridas pela bateria durante os 7 dias, pg.34

Tabela 6: Valores da potência média e máxima gerada pelo sistema, pg.35

Tabela 7: Sintetização de teste de hipóteses estatística, pg.36

III. Lista dos gráficos

Gráfico 1: Distribuição das médias das velocidades, pg.44

Gráfico 2: Distribuição normal padrão, pg.44

Gráfico 3: Variação da tensão diária em função da velocidade média, pg.45

Gráfico 4: Variação da intensidade diária em função da velocidade média, pg.46

IV. Lista de símbolos e abreviaturas

PEA – Processo de Ensino Aprendizagem

ESG – Ensino Secundário Geral

E – Energia

INAM – Instituto Nacional de Meteorologia

P – Potência

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

INFP – Instituto Nacional de Emprego e Formação Profissional

1. Introdução

Toda actividade humana precisa de Energia para que possa ser realizada. Qualquer movimento só é possível se existir energia mecânica disponível. Em função desta necessidade muito cedo na história do desenvolvimento humano a conversão de formas de energia primária em energia Mecânica para a realização de trabalhos motivou o ser humano a estudar e desenvolver técnicas de conversão de energia. Uma das formas de energia primária abundante na natureza é a Energia dos Ventos, denominada energia Eólica. A técnica de conversão da energia dos ventos em energia mecânica primeiramente foi explorada para utilização em propulsão de navios, moinhos de cereais, bombas de água e na idade média para mover a indústria de forjaria.

A conversão da energia dos ventos em energia mecânica consiste numa técnica relativamente simples, bastando apenas que se tenha um potencial eólico disponível e que resista aos caprichos da natureza.

É neste âmbito que o presente trabalho de pesquisa faz uma abordagem relacionada com a energia eólica procurando encontrar uma alternativa que possa ser usada na geração de energia eléctrica para o uso laboratorial assim como doméstico, a partir de unidades eólicas simples e construídos com material de baixo custo.

1.1. Tema

Constitui tema desta monografia o seguinte:

“Vento Como Fonte Alternativa de Energia do Futuro Para a Província de Gaza”.

1.2. Delimitação da abordagem

A nossa intenção foi de produzir um instrumento (aerogerador de conchas de coco) que possa servir de alternativa no processo de geração de corrente eléctrica.

Neste instrumento deu-se prioridade a construção assim como a medição de algumas grandezas como por exemplo: a tensão gerada pelo sistema com o circuito aberto, a corrente gerada com o circuito aberto, a tensão gerada com o circuito fechado, a corrente gerada com o circuito fechado, a potência eléctrica do sistema, a carga adquirida pela bateria por hora (em relação a uma determinada velocidade média do vento). É importante destacar que estas e outras grandezas físicas são as que garantiram a eficácia e eficiência do instrumento produzido.

Entretanto, o instrumento em abordagem foi montado e testado no Campus da Universidade Pedagógica Delegação de Gaza por este constituir, na nossa visão, um potencial eólico.

1.3. Formulação do Problema

Como se sabe em geral para que um professor seja bem sucedido numa aula de Física, é necessário que a sua aula seja acompanhada por uma experiência de demonstração do fenómeno em abordagem. É nesta ordem de ideias que se defende que as experiências de demonstração desempenham um papel preponderante no Processo de Ensino – Aprendizagem (PEA) de Física.

Um dos grandes tormentos do Mundo de hoje é a questão relativa à energia, o aproveitamento desta, ainda não atingiu um nível satisfatório, visto que a maioria da energia utilizada no planeta é de origem não renovável, seja de fonte mineral, atómica, térmica ou hídrica. A energia pode ser utilizada de forma mais civilizada e menos dispendiosa, por meio de fontes renováveis como a energia eólica, solar, das marés, geotérmica e de outras mais.

A energia eólica é uma das energias renováveis em destaque no panorama internacional. Portanto, é com base nesta e noutras fundamentações que propusemo-nos em colocar as seguintes questões de partida:

1. “Como transformar a energia eólica em eléctrica?”
2. “Que instrumento de fácil acesso pode ser feito e usado na transformação de energia eólica em eléctrica?”

1.4. Objectivos

No corrente item são apresentados, o objectivo geral e os objectivos específicos a ser concretizados nesta monografia.

1.4.1. Objectivo geral

O nosso objectivo geral é construir um instrumento alternativo com base no material de baixo custo ou reciclado, que possa ser usado na geração de energia eléctrica para o uso laboratorial assim como doméstico, a partir de unidades eólicas simples.

1.4.2. Objectivos específicos

Dentre vários objectivos específicos destacam –se os seguintes:

- Identificar um instrumento que pode auxiliar na ilustração do processo de transformação de energia eólica em eléctrica, durante as aulas de Física nas escolas do Ensino Secundário Geral (ESG);
- Montar o instrumento, com base no material reciclado, que possa carregar uma bateria de 6V;
- Discutir a ciência envolvida no sistema;
- Fazer medições das grandezas físicas envolvidas no sistema.
- Tirar conclusões relacionadas com a eficácia e eficiência do instrumento.

1.5. Hipóteses e Variáveis

No corrente item indicamos as hipóteses e as respectivas variáveis da pesquisa.

1.5.1. Hipóteses

São indicadas como hipóteses do problema proposto no item 1.3. as seguintes:

- Através de um aerogerador de conchas de coco, pode-se transformar a energia eólica em eléctrica;
- O sistema pode ser montado a partir de um dínamo a ser movido por hélices horizontais;
- O sistema previsto neste projecto vai carregar uma bateria de 6V.

1.5.2. Variáveis

Para este trabalho destacamos dois tipos de variável a saber: variáveis dependente e variável independente:

1.5.2.1. Variável dependente

Neste caso a corrente eléctrica é uma variável dependente.

1.5.2.2. Variável independente

Destacamos como variável independente o vento.

1.6. Importância do Tema

O tema em abordagem assume um papel importante na vida social e económica da população em particular moçambicana, assim como no processo de ensino e aprendizagem concretamente no ramo de Física, porque como se sabe, a Física é uma colecção sistematizada de experiências (experiência em termos de vivência/ intercâmbio com a natureza). Ela consiste numa grande variedade de métodos de pesquisa (observação, medição, experiência, etc.) e apresenta-se como um sistema de resultados dessa pesquisa (conceitos, leis, teorias, etc.) ou por outras, a Física é uma ciência que estuda os fenómenos naturais e leis que regem esses fenómenos,

portanto, para que o aluno perceba esses fenómenos, o professor deve levar para a sala de aulas experiências simples que ilustram de forma mais clara os fenómenos em causa. O interesse deste tema quando comparado com outros temas de pesquisas nasce da visão construtivista onde o aluno é visto como centro de atenção e também por ser de carácter eminentemente científico.

1.7. Motivação e Relevância Prática do Tema

Para além de ser um assunto de destaque no panorama nacional e internacional, há vários motivos que nos levaram a ter que abordar este tema, porém interessa aqui indicar alguns:

- Acredita-se que o tema tem uma relevância científica e social porque é através deste tema que se pode criar um conhecimento que contribua para o avanço da ciência, tecnologia e consequente desenvolvimento da sociedade; Pois é com base no dispositivo ora construído, que se discute a ciência envolvida no sistema.
- O facto de existir material acessível para a construção de protótipo que possa ilustrar o fenómeno implica que em qualquer sítio pode se montar o sistema desde momento que esse sítio seja potencial eólico, fazendo com que as comunidades se beneficiem deste tipo de energia renovável (menos poluente) de baixo custo e, sobre tudo nas zonas rurais onde a rede eléctrica de Cahora Bassa não alcança.
- Um dos motivos que aqui merece destaque é o facto de querermos responder à várias questões que têm sido colocadas pelas comunidades e por algumas entidades do governo da Província, a título de exemplo as que foram colocadas por Sua Excia Governador da Província de Gaza, durante uma exposição que teve lugar no INEFP¹. Onde os estudantes da UP-Gaza colocavam em exposição a produção da energia eléctrica (fazendo tocar o rádio) a partir duma manivela e um dínamo. Em que passamos a citar as questões lançadas depois de se ter verificado o fenómeno com sucesso:

“Já que vocês dizem que o sistema pode servir a comunidade, o camponês terá que deixar de lavrar a terra manivelar o sistema para ouvir a rádio? Já pensaram em alguma alternativa que possa permitir com que a doméstica lá em Chidenguele... possa ouvir a rádio sem que tenha que deixar dos seus afazer para manivelar o sistema?” Entretanto estas e várias outras questões são respondidas de forma resumida neste trabalho através da construção deste instrumento.

¹ Localizada na baixa da cidade de Xai-Xai por detras do Concelho Municipal de Xai-Xai

2. Referencial teórico

Neste item faz-se uma abordagem relacionada com recurso eólico, energia e potência extraída do vento e tipos de aerogerador para a geração da energia eléctrica.

2.1. O recurso eólico

De acordo com BRITO (2008, p.14),

“A energia eólica provém da radiação solar uma vez que os ventos são gerados pelo aquecimento não uniforme da superfície terrestre. Uma estimativa da energia total disponível dos ventos ao redor do planeta pode ser feita a partir da hipótese de que, aproximadamente, 2% da energia solar absorvida pela Terra é convertida em energia cinética dos ventos.”

Acreditamos que o percentual destacado por este autor embora se pareça pequeno, representa centenas de vezes a potência anual instalada nas centrais eléctricas do mundo.

2.1.1. Mecanismos de Geração dos Ventos

Para realização de um trabalho académico sobre energia eólica como esse, certamente não se poderia deixar de ressaltar a principal fonte natural de estudo dessa energia que é o vento.

2.1.1.1. Tipos de Ventos

“O vento é o ar em movimento provocado pela diferença de pressão” (FACULDADE DE LETRAS-UEM, 1982, p.37).

É com base nesta definição que se pode afirmar que o vento é a principal característica da movimentação das massas de ar existentes na atmosfera e o seu surgimento está directamente relacionado às variações das pressões de ar que por sua vez é originada termicamente através da radiação solar e das fases de aquecimento das massas de ar.

“Os ventos podem ser classificados de acordo com suas origens, sendo assim divide-se da seguinte maneira” (SILVA, 2005):

2.1.1.1.1 Ventos globais

O vento que sobe desde o Equador para os pólos, onde circula pelas camadas mais altas da atmosfera, por volta dos 30° de latitude, a força de Coriolis evita que continue em direcção aos

pólos. Nessa latitude encontra-se uma zona de altas pressões, pelo que o ar começa a descer de novo.

Entretanto sabe-se que quando o vento sobe desde o Equador origina uma zona de baixas pressões perto do solo o que atrai ventos do Norte e do Sul. Nos pólos, devido ao ar frio, são originadas zonas de altas pressões.

A Troposfera é onde ocorrem todos os fenómenos meteorológicos assim como o efeito de estufa (FACULDADE DE LETRAS-UEM, 1982, p.23).

Portanto as direcções dominantes do vento são importantes na localização dos aerogeradores, no entanto a geografia local também pode influenciar as direcções acima indicadas.

2.1.1.1.2 Ventos de superfície

“Os ventos são muito influenciados pela superfície terrestre até altitudes de 100 metros. A intensidade do vento é reduzida pela rugosidade da superfície da terra e pelos obstáculos” (BRITO 2008, p.16).

2.1.1.1.3 Ventos locais

Apesar da importância dos ventos locais na determinação dos ventos dominantes numa determinada área, as condições climáticas locais podem influenciar as direcções do vento. A direcção do vento é influenciada pela soma dos efeitos globais e locais. Quando os ventos globais são suaves, os ventos locais podem dominar o regime de ventos.

Silva subdivide os ventos locais em dois tipos (neste caso, chamados de “A” e “B”), “brisas marinhas e ventos da montanha ou vale” (2005, p.358):

A - Brisas marinhas:

“Durante o dia a terra aquece mais rapidamente pela influência do sol que o mar” (FACULDADE DE LETRAS-UEM, 1982, p.34).

O ar sobe e circula para o mar, criando uma depressão ao nível do solo, que atrai o ar frio do mar. A essa atracção é dado o nome de brisa. Nas figuras 1 e 2 o ar frio está representado pelas setas na posição horizontal e o ar quente está representado pelas setas na vertical.

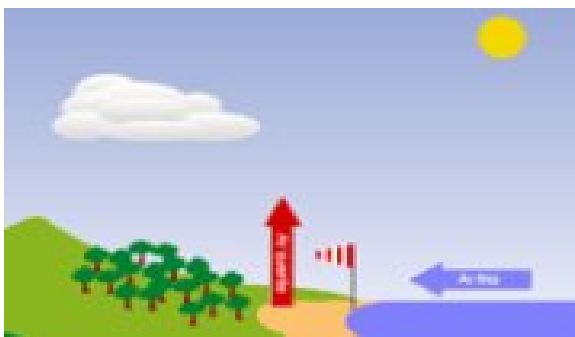


Figura 1 – Brisas Marinhas ao dia (Fonte:Silva, 2005)

Normalmente ao entardecer há um período de calma, quando as temperaturas do solo e do mar se igualam. Durante a noite os ventos sopram em sentido contrário, tendo a brisa terrestre, normalmente, velocidades inferiores, uma vez que a diferença entre a temperatura do solo e do mar é menor.



Figura 2 – Brisas Marinhas a noite (Fonte:Silva, 2005)

B - Ventos da montanha ou vale:

“Um exemplo é o vento da montanha a qual tem origem nos declives orientados ao norte no hemisfério sul e ao sul no hemisfério norte” (FACULDADE DE LETRAS-UEM, 1982, p.33).

Entretanto quando o ar próximo das montanhas está quente a densidade do ar diminui, sobe seguindo a superfície do declive. Durante a noite a direcção do vento inverte-se, passando a descer o declive.

“Se o fundo do vale for inclinado o ar pode ascender e descender pelo vale, a este efeito é dado o nome de vento canhão” (SILVA, 2005, p.359).

2.1.2 Factores que influenciam a energia proveniente do vento

“O aerogerador obtém energia convertendo a energia do vento num binário actuando sobre as hélices do rotor. A quantidade de energia transferida ao rotor pelo vento depende, basicamente, dos seguintes factores:” (BRITO 2008, p.16),

2.1.2.1 Densidade do ar

Brito defende que “a energia cinética de um corpo em movimento é proporcional a sua massa, assim a energia cinética do vento depende da densidade do ar e de sua massa por unidade de volume” (BRITO 2008, p.17).

Evidentemente a afirmação feita pelo autor citado no parágrafo anterior é fundamentada pela equação (1.0) e isto leva-nos a crer que quanto mais denso seja o ar, maior quantidade de energia a turbina receberá.

E é do nosso conhecimento que a pressão atmosférica normal a densidade do ar é de $1,225 \text{ Kg} / \text{m}^3$. A grandes altitudes a pressão do ar diminui e o ar é menos denso.

2.1.2.2 Área de varrimento do rotor

A área de varrimento do rotor ou, pode-se dizer, a circunferência onde o rotor actua fisicamente é que determina quanta energia do vento a turbina eólica é capaz de captar. Dado que a área do rotor aumenta com o quadrado do raio, por exemplo, uma turbina duas vezes maior recebe quatro vezes mais energia.

2.1.2.3 Distribuição da pressão no rotor

A pressão do ar aumenta gradualmente à medida que o vento se aproxima do rotor, uma vez que o rotor actua como barreira ao vento, na parte posterior do rotor a pressão cai imediatamente, estabilizando gradualmente à medida que se afasta. À medida que o vento se afasta do rotor a turbulência do vento provoca que o vento mais lento se misture com o vento mais rápido da área circundante, reduzindo o efeito de “abrigo ao vento”.

Para além dos indicados anteriormente entre os principais factores de influência no regime dos ventos destacam-se:

- A variação da velocidade com a altura;

- A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções;
- Presença de obstáculos nas redondezas;

As informações necessárias para o levantamento das condições regionais podem ser obtidas a partir de mapas topográficos e de uma visita ao local de interesse para avaliar e modelar a rugosidade e os obstáculos. O uso de imagens aéreas e dados de satélite também contribuem para uma análise mais apurada (BRITO 2008, p.16).

Nos dizeres deste autor houve toda uma necessidade de se visitar o local onde posteriormente seria montado o dispositivo no sentido de averiguar os factores acima referenciados.

2.2. Energia e Potência Extraída do Vento

A energia cinética de uma massa de ar m em movimento a uma velocidade v é dada por:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1.0)$$

Considerando a mesma massa de ar m em movimento a uma velocidade v , perpendicular a uma sessão transversal de um cilindro imaginário (figura 3), pode-se demonstrar que a potência disponível no vento que passa pela secção A , transversal ao fluxo de ar, é dada por:

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (2.0)$$

Onde:

$P \rightarrow$ potência do vento $[W]$

$\rho \rightarrow$ massa específica do ar $[kg / m^3]$

$A \rightarrow$ área da secção transversal $[m^2]$

$v \rightarrow$ velocidade do vento $[m / s]$

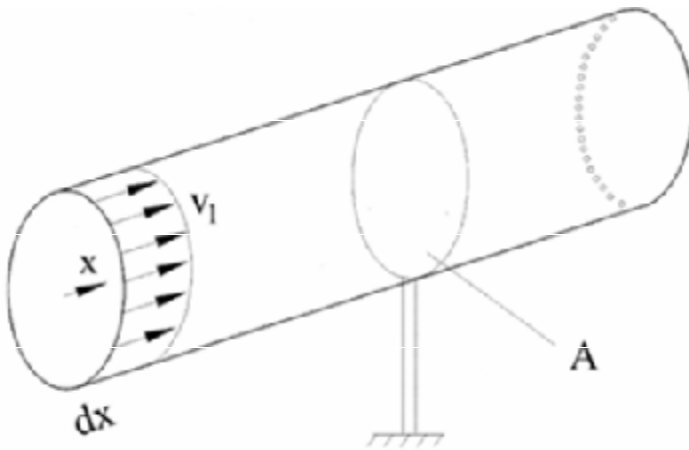


Figura 3 – Fluxo de ar através de uma área transversal **A** (Fonte: BRITO, 2008)

A expressão (2.0) também pode ser escrita por unidade de área, definindo, desta forma, a densidade de potência **DP**, ou fluxo de potência:

$$DP = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 \quad (3.0)$$

Ao reduzir a velocidade do deslocamento da massa de ar, a energia cinética do vento é convertida em energia mecânica através da rotação das pás (ou conchas).

“A potência disponível no vento não pode ser totalmente aproveitada pelo aerogerador na conversão de energia eléctrica,” (BRITO, 2008, p.20).

Para levar em conta esta característica física, é introduzido um índice denominado coeficiente de potência c_p , que pode ser definido como a fracção da potência eólica disponível que é extraída pelas pás do rotor

Para determinar o valor máximo desta parcela de energia extraída do vento (c_p máximo), o físico alemão Albert Betz considerou um conjunto de pás em um tubo onde v_1 representa a velocidade do vento na região anterior às pás, v_2 a velocidade do vento no nível das pás e v_3 a velocidade no vento após deixar as pás, conforme apresentado na figura 4.

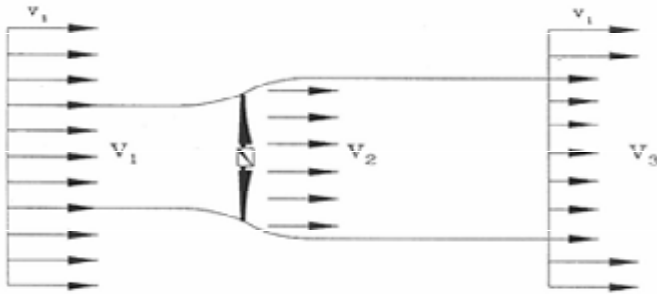


Figura 4 – Perdas de velocidade do vento na passagem por um conjunto de pás. (Fonte: BRITO, 2008)

Como na figura 4, Betz assume um deslocamento homogêneo do fluxo de ar a uma velocidade v_1 que é retardada pelo conjunto de pás, assumindo uma velocidade v_3 a jusante das pás. Pela lei da continuidade, temos que:

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2 = \rho v_3 A_3 \quad (4.0)$$

Como a redução da pressão do ar é mínima, a densidade do ar pode ser considerada constante. A energia cinética extraída pelo aerogerador é a diferença entre a energia cinética a montante e a energia cinética a jusante do conjunto de pás:

$$E_{ex} = \frac{1}{2} m (v_1^2 - v_3^2) \quad (5.0)$$

A potência extraída do vento por sua vez é dada por:

$$E'_{ex} = \frac{1}{2} m' (v_1^2 - v_3^2) \quad (6.0)$$

Neste ponto é necessário fazer duas considerações extremas sobre a relação entre as velocidades v_1 e v_3 :

A velocidade do vento não é alterada ($v_1 = v_2$) – neste caso nenhuma potência é extraída;

A velocidade do vento é reduzida a valor zero ($v_3 = 0$) – neste caso o fluxo de massa de ar é zero, o que significa também que nenhuma potência seja retirada.

A partir dessas duas considerações extremas, a velocidade referente ao máximo de potência extraída é um valor entre v_1 e v_3 . Este valor pode ser calculado se a velocidade no rotor v_2 é conhecida. A massa de ar é dada por:

$$m' = \rho A v_2 \quad (7.0)$$

Pelo teorema de Rankine-Froude, pode-se assumir que a relação entre as velocidades v_1, v_2 e v_3 é dada por:

$$v_2' = \frac{v_1 + v_3}{2} \quad (8.0)$$

Conjugando (7.0) e (8.0) na (6.0) temos:

$$E'_{ex} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{v_3}{v_1} \right] \left[1 - \left(\frac{v_3}{v_1} \right)^2 \right] \right\} \quad (9.0)$$

Onde:

Potência do Vento é igual a $\frac{1}{2} \rho A v_1^3$ e isto nos leva a crer $c_p = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{v_3}{v_1} \right] \left[1 - \left(\frac{v_3}{v_1} \right)^2 \right] \right\}$

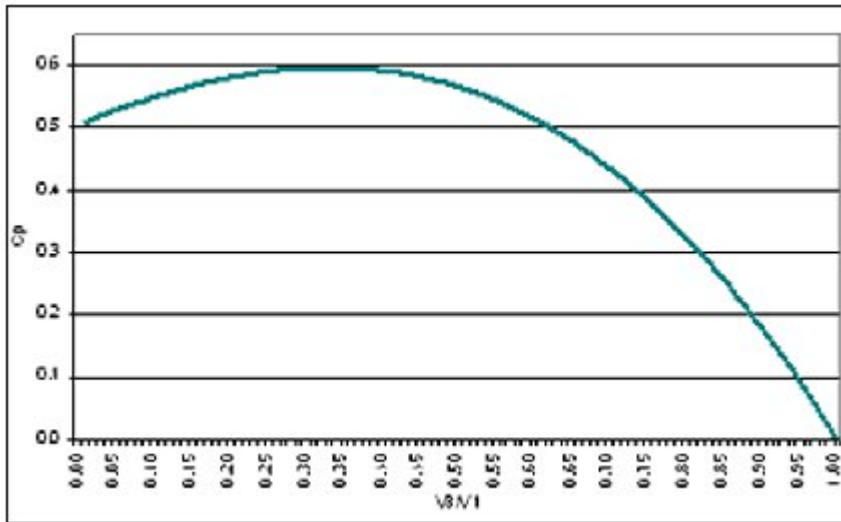


Figura 5 – Distribuição de c_p em função de v_3 / v_1 (Fonte: BRITO, 2008)

Ao considerar o coeficiente de potência c_p em função de v_3 / v_1 temos que: $c_p = \frac{16}{24} = 0,59$ onde

$$v_3 / v_1 = 1/3$$

A figura 4 mostra as principais forças actuantes em uma pá do aerogerador, assim como os ângulos de ataque (α) e de passo (β). A força de sustentação é perpendicular ao fluxo do vento resultante visto pela pá (V_{res}), resultado da subtração vectorial da velocidade do vento incidente (V_w) com a velocidade tangencial da pá do aerogerador (V_{tan}), conforme a equação. (10)

$$\vec{V}_{res} = \vec{V}_w - \vec{V}_{tan} \quad (10)$$

A força do arrasto é produzida na mesma direcção de V_{res} . A resultante das componentes da força de sustentação e de arrasto na direcção V_{tan} , produz o torque do aerogerador.

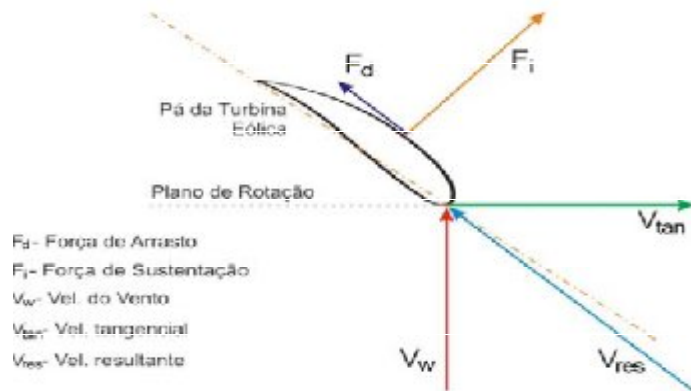


Figura 6 – Principais forças actuantes em uma pá de aerogerador

(Fonte: Montezano, 2008, p.137)

“A potência mecânica extraída do vento pelo aerogerador depende de vários factores. Mas tratando-se de estudos eléctricos, o modelo geralmente apresentado nas literaturas é simplificado pelas equações (11) e (12)” (PAVINATTO, 2005)

$$P_{mec} = \frac{1}{2} \rho A V_w^3 c_p(\lambda, \beta) \quad (11)$$

Com

$$\lambda = \left(\frac{R \varpi_{wt}}{V_w} \right) \quad (12)$$

Onde:

c_p – coeficiente de potência do aerogerador

λ – razão entre a velocidade tangencial da ponta da pá e a velocidade do vento incidente (*tip speed ratio*)

ϖ_{wt} – velocidade angular do rotor $[rad / s]$;

R – raio do rotor $[m]$

ρ – densidade do ar $[Kg / m^3]$

A – área varrida pelo rotor $[m^2]$

V_w – velocidade do vento incidente no rotor $[m / s]$

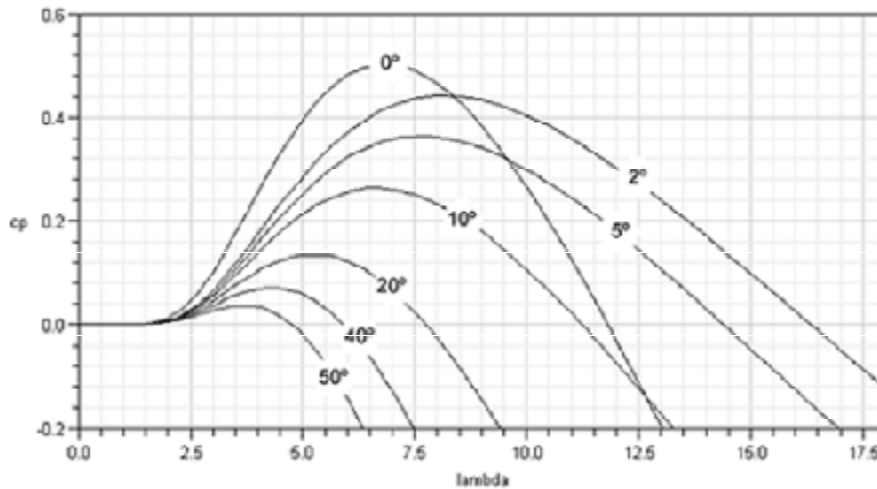


Figura 7 – Características $c_p(\lambda, \beta)$ traçadas em função de aproximações numéricas (Fonte: Montezano, 2008)

Na equação (11), o coeficiente de potência $c_p(\lambda, \beta)$ depende das características do aerogerador, sendo função da razão de velocidades λ e do ângulo de passo β das pás (pitch) do aerogerador. O $c_p(\lambda, \beta)$ é expresso como uma característica bidimensional.

Aproximações numéricas normalmente são desenvolvidas para o cálculo de c_p para valores dados de λ e β . A figura 7 mostra a característica $c_p(\lambda, \beta)$ traçada para vários valores de β .

2.3. Tipos de Aerogeradores para Geração de Energia Eléctrica

2.3.1. Rotores de Eixo Vertical

Em geral, os rotores de eixo vertical têm a vantagem de não necessitarem de mecanismos de acompanhamento para variações da direcção do vento, o que reduz a complexidade do trabalho e os esforços devido às forças de *Coriolis*. Os rotores de eixo vertical também podem ser movidos por forças de sustentação (*lift*) e por forças de arrasto (*drag*). Os principais tipos de rotores de eixo vertical são *Darrieus*, *Savonius* e turbinas com torre de vórtices. Os rotores do tipo *Darrieus* são movidos por forças de sustentação e constituem-se de lâminas curvas (duas ou três) de perfil aerodinâmico, atadas pelas duas pontas ao eixo vertical.

2.3.2. Rotores de Eixo Horizontal

Os rotores de eixo horizontal são os mais comuns, e grande parte da experiência mundial está voltada para a sua utilização. São movidos por forças aerodinâmicas chamadas de forças de sustentação (*lift*) e forças de arrasto (*drag*). Um corpo que obstrui o movimento do vento sofre a acção de forças que actuam perpendicularmente ao escoamento (forças de sustentação) e de forças que actuam na direcção do escoamento (forças de arrasto). Ambas são proporcionais ao quadrado da velocidade relativa do vento. Adicionalmente, as forças de sustentação dependem da geometria do corpo e do ângulo de ataque (formado entre a velocidade relativa do vento e o eixo do corpo).

Os rotores que giram predominantemente sob o efeito de forças de sustentação permitem liberar muito mais potência do que aqueles que giram sob efeito de forças de arrasto, para uma mesma velocidade de vento.

Os rotores de eixo horizontal ao longo do vento (aerogeradores convencionais) são predominantemente movidos por forças de sustentação e devem possuir mecanismos capazes de permitir que o disco varrido pelas pás esteja sempre em posição perpendicular ao vento.

Os rotores mais utilizados para geração de energia eléctrica são os de eixo horizontal do tipo hélice, normalmente compostos de 3 pás ou em alguns casos (velocidades médias muito altas e possibilidade de geração de maior ruído acústico) 1 ou 2 pás.

2.3.2.1. Pás, cubo e eixo

As pás são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interacção com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico. Inicialmente fabricadas em alumínio, actualmente são fabricadas em fibras de vidro reforçadas com epoxi. Nos aerogeradores que usam controle de velocidade por passo, a pá dispõe de rolamentos em sua base para que possa girar, modificando assim seu ângulo de ataque.

As pás são fixadas através de flanges em uma estrutura metálica a frente do aerogerador denominada cubo.

O eixo é o responsável pelo acoplamento do cubo ao gerador, fazendo a transferência da energia mecânica da turbina. É construído em aço ou liga metálica de alta resistência.

A transformação da energia mecânica de rotação em energia eléctrica através de equipamentos de conversão electromecânica é um problema tecnologicamente dominado e, portanto, encontram-se vários fabricantes de geradores disponíveis no mercado.

Entretanto, segundo Brito (2008, p.30) a integração de geradores no sistema de conversão eólica constitui-se em um grande problema, que envolve principalmente:

- variações na velocidade do vento (extensa faixa de rotações por minuto para a geração);
- variações do torque de entrada (uma vez que variações na velocidade do vento induzem variações de potência disponível no eixo);
- exigência de frequência e tensão constante na energia final produzida;
- dificuldade de instalação, operação e manutenção devido ao isolamento geográfico de tais sistemas, sobretudo em caso de pequena escala de produção (isto é, necessitam ter alta confiabilidade).

Actualmente existem várias alternativas de conjuntos moto-geradores, entre eles: geradores de corrente contínua, geradores síncronos, geradores assíncronos, geradores de comutador de corrente alternada. Cada uma delas apresenta vantagens e desvantagens que devem ser analisadas com cuidado na sua incorporação ao sistema de conversão de energia eólica. Contudo, nesta monografia discuti-se o gerador de corrente contínua.

2.3.2.1.1. Torre

As torres são necessárias para sustentar e posicionar o rotor a uma altura conveniente para o seu funcionamento. É um item estrutural de grande porte e de elevada contribuição no custo do sistema. Inicialmente, as turbinas utilizavam torres de metal treliçado.

2.4. Aplicações dos Sistemas Eólicos

Um sistema eólico pode ser utilizado em três aplicações distintas: sistemas isolados, sistemas híbridos e sistemas interligados à rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, necessitam de uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, de uma unidade de armazenamento.

2.4.1. Sistemas Isolados

Os sistemas isolados, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, com o objectivo de utilizar aparelhos eléctricos (que é o nosso caso), ou na forma de energia gravitacional, com a finalidade de armazenar a água bombeada em reservatórios para posterior utilização. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação onde toda a água bombeada é directamente consumida.

Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O *controlador de carga* tem como principal objectivo evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda. Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário a utilização de um *inversor*. Este dispositivo geralmente incorpora um *seguidor do ponto de máxima potência* necessário para optimização da potência produzida. Este sistema é usado quando se deseja utilizar electrodomésticos convencionais.

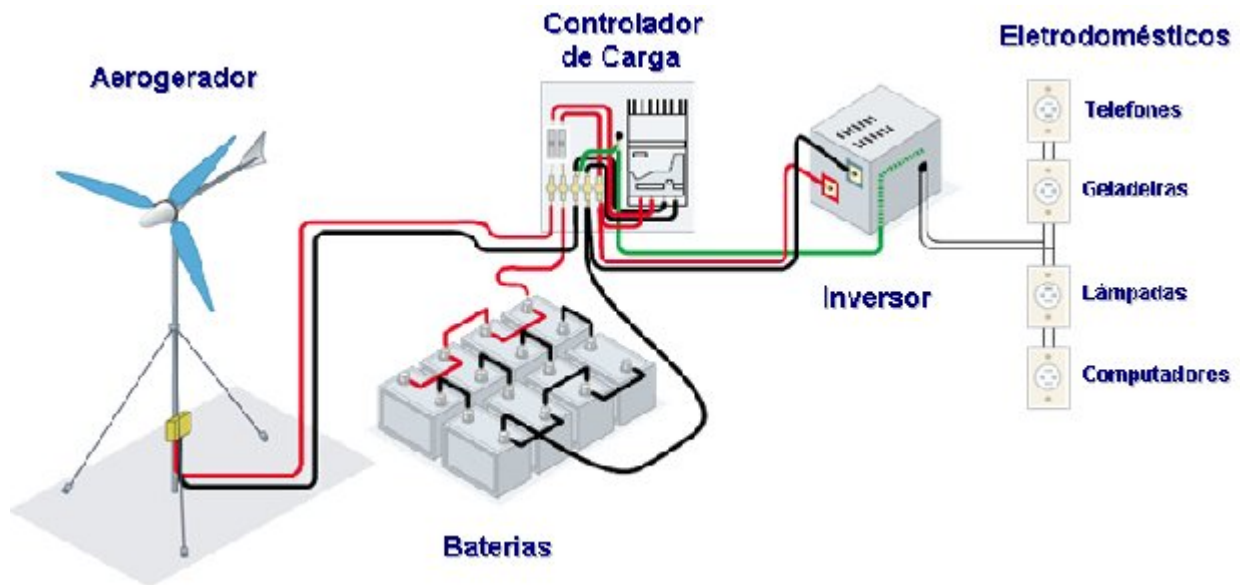


Figura 8 - Configuração de um sistema eólico isolado (Fonte: BRITO, 2008)

No nosso caso, como atesta a figura 9, não foi possível acoplar no sistema um controlador de carga porém, para evitar o descarregamento da bateria houve uma necessidade de se acoplar no sistema um diodo².

² Dispositivo electrónico que pela sua natureza só permite um e único sentido de corrente eléctrica (BERTOLI, 2000, p.7)

2.4.2. Sistemas Híbridos

Os sistemas híbridos são aqueles que, desconectados da rede convencional, apresentam várias fontes de geração de energia como, por exemplo, turbinas eólicas, geração diesel, módulos foto voltaicos, entre outras.

2.4.3. Sistemas Interligados à Rede

Os sistemas interligados à rede utilizam um grande número de aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue directamente à rede eléctrica.

3. Metodologia

Para a efectivação deste trabalho foi necessário construir um aerogerador para geração de energia eléctrica. O aerogerador ora construído é do tipo “rotor de eixo vertical” (figura 9), por este apresentar uma vantagem de não necessitar de mecanismos de acompanhamento para variações da direcção do vento, o que veio a reduzir a complexidade da execução do projecto e os esforços devido às forças de *Coriolis*.

O sistema foi colocado a uma altura de sensivelmente 7,36m para permitir que houvesse um melhor aproveitamento do gerador e que as turbulências causadas pela não uniformidade do chão, das construções e dos obstáculos naturais sejam minimizadas, não interferindo muito no aproveitamento do sistema.

Importa aqui referir que o instrumento foi feito com base no material de baixo custo.

3.1. Montagem do Aerogerador de Conchas

Para execução da montagem da unidade eólica prevista no projecto foram necessárias algumas aquisições específicas para o dimensionamento projectado e para garantir o funcionamento da unidade eólica.

3.1.1. Materiais e peças usadas

Tabela 1: Característica do material

Material	Massa	Comprimento	Diâmetro
Janta	228g	////////	42cm
Cafulos	5x48g	////////	12cm
Fio inextensível	////////	172cm	////////
Barra de ferro	78g	56cm	////////
Haste	6800g	736cm	4cm
Fios condutores	////////	10cm	////////
Um Varrão de ferro	380g	18cm	////////

Para além do exposto na tabela acima, foram também usados os seguintes materiais: um gerador eléctrico de $12V$; um diodo; um multímetro digital (com referência *DT-5801* e com os erros relativos de $\pm 5\%$ DC- tensão na escala de $200mV$ a $200V$, de $\pm 0,8\%$ para a escala de $200\mu C$ a $20mA$ assim como de $1,2\%$ na escala de $200mV$ DC- corrente); uma bateria de $6V/2A$; massa de ferro, onde esta última, foi usada para fechar os furos dos cafulos que poderiam causar fugas do ar, impedindo desta feita o melhor aproveitamento da corrente do ar.

3.1.2. Etapas da montagem do rotor

A primeira etapa da montagem foi a soldagem dos ferros que asseguram as conchas de coco na janta de bicicleta assim como a soldagem da barra que serve de suporte do gerador. Para maior aproveitamento eólico, as conchas são posicionadas com uma diferença de $70,2^\circ$ de cada nível da concha.

Após o posicionamento e fixação das conchas, foi necessário incluir o sistema de transmissão (fio inextensível) do rotor para o gerador eléctrico executar a conversão de energia mecânica para energia eléctrica e consecutivamente repassar a tensão gerada (através dos fios condutores) para o diodo e do diodo para a bateria tal como se pode ver na ilustração feita na figura 9.

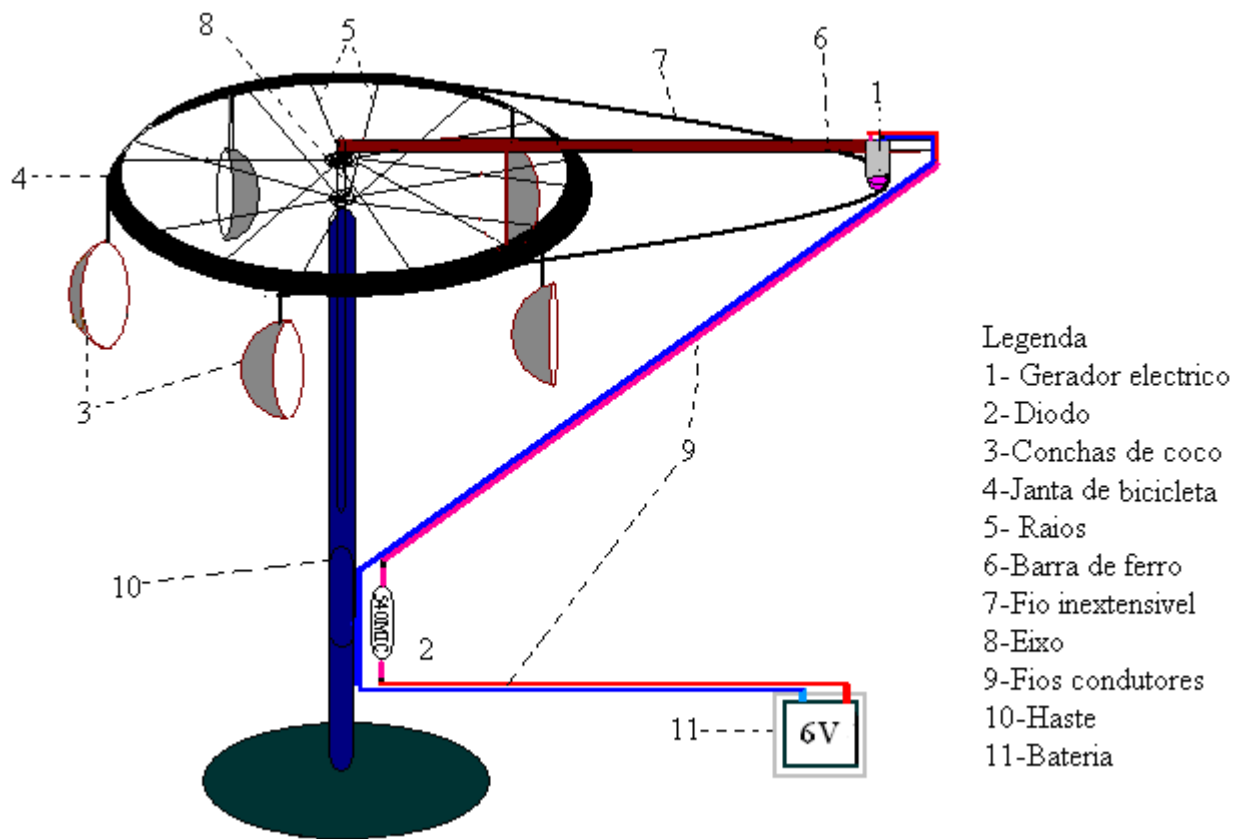


Figura 9 – Configuração do sistema eólico (aerogerador eléctrico de conchas) isolado

3.2. Grandezas físicas medidas

É importante salientar que neste sistema há várias grandezas que variam durante o processo de transformação de energia eólica em eléctrica, porém, direccionamos a nossa análise com muito rigor a medição, análise e interpretação das seguintes grandezas: velocidade média do vento³, a tensão gerada com o circuito aberto, a corrente gerada com o circuito aberto, a tensão gerada com o circuito fechado, a corrente gerada com o circuito fechado, a potência eléctrica do sistema, a carga adquirida pela bateria por hora (em relação a uma determinada velocidade média do vento). Consta em apêndice 1 a tabela preenchida durante a medição destas grandezas

3.3. Tipo de pesquisa

O tipo de pesquisa utilizado é essencialmente Investigação Quantitativo.

³ Informação recolhida no INAME-Gaza.

3.4. Métodos Quantitativos de Investigação

A utilização do Método Quantitativo está associada ao tipo de investigação que por sinal é meramente experimental ou quase experimental a qual nos remeteu à observação de fenómenos. Entretanto, as hipóteses formuladas pretendem explicar o mesmo fenómeno, o controlo de variáveis, a verificação ou rejeição das hipóteses mediante uma recolha rigorosa de dados (com base na tabela em apêndice1), posteriormente sujeitos a uma análise estatística e uma utilização de modelos matemáticos para testar essas mesmas hipóteses.

Para permitir a análise estatística foram calculados os valores relativos à:

- Aos valores médios da velocidade do vento mensal, anual (de 2005 a 2009) assim como médios diários (de 18 a 24 de Janeiro de 2009);
- Valores médios diários da carga adquirida pela bateria (de 18 a 24 de Janeiro de 2009);
- Moda, mediana, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

O objectivo é a generalização dos resultados a partir da amostra, o estabelecimento de relações causa – efeito e a previsão dos fenómenos.

Portanto, os objectivos deste tipo de investigação consistem essencialmente em encontrar relações entre variáveis, fazer descrições recorrendo ao tratamento estatístico dos dados recolhidos e testar teorias;

3.5. Método de abordagem

O método de abordagem usado nesta pesquisa é experimental.

Quanto ao método de procedimento tomou-se como base o método de generalização indutiva. Portanto, foi com base neste método que se encontrou a génese que está por detrás do problema citado no item 1.3.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolha de dados

A principal técnica usada na recolha de dados é o preenchimento de tabelas cujos formulários constam no apêndice1⁴ deste trabalho.

⁴ Os dados que compõem este apêndice foram medidos com base no instrumento que fizemos menção no item 3.1.1. deste trabalho.

3.7. Área Geográfica de investigação

Como se disse num dos itens anteriores o experimento será ensaiado na Província de Gaza Posto Administrativo de Chongoene em Venhene concretamente no Campus da Universidade Pedagógica Delegação de Gaza.

É importante destacar que o local foi escolhido estrategicamente, pelo facto de reunir óptimas condições para a montagem de unidades eólicas e a respectiva produção de corrente eléctrica a partir destas unidades.

4. Apresentação dos Dados e sua Análise

Neste item é feita a apresentação de todos os dados observados assim como recolhidos para uma posterior análise

4.1. Transformação da energia eólica em eléctrica

A corrente do ar (vento) contém consigo a energia cinética, entretanto, quando esta corrente penetra nos “cafulos” transforma-se em energia mecânica fazendo girar desta feita o rotor (a janta de bicicleta) e através do sistema de transmissão a energia mecânica é transmitida ao rotor do dínamo.



Figura10: Sistema de transformação da energia eólica em eléctrica

O movimento do rotor do dínamo produz uma corrente induzida que circula pelas bobinas e é colectada pelas escovas e estas por sua vez são ligadas aos fios do multímetro através do qual pode-se fazer a leitura da corrente produzida (figura11).

A corrente produzida pelo sistema passa através dos fios condutores e é armazenada na bateria de 6V (figura 11).



Figura 11: Carregamento da bateria de 6V

Na figura12 pode se observar a intensidade e a tensão produzidas pelo sistema a uma velocidade do vento de cerca de 17km/h. Neste caso as duas grandezas que estão sendo referenciadas neste parágrafo foram medidas com o circuito aberto.



Figura 12: Quantidade de energia produzida a uma velocidade 17km/h

4.2. Dados relativos a velocidade do vento durante 2005 a 2009

Neste item vamos fazer menção à velocidades do vento nos últimos 5 anos e durante a semana de experimentação.

4.2.1. Velocidade do Vento

Com base nos dados da velocidade do vento dos últimos 5 anos (anexo nº1) do Distrito de Xai-Xai, fornecidos pela INAM, foi possível calcular (apêndice 2) a média, moda, mediana, erro

médio padrão, variância, desvio padrão e coeficiente de Person da velocidade do vento como atesta a tabela nº2.

Tabela 2: Média, moda, mediana erro padrão, variância, desvio padrão e coeficiente de Person da velocidade do vento (2005-2009)

Anos	$v_{med} (m / s)$	<i>Mod</i>	<i>Mediana</i>	Erro médio padrão α	Variância δ^2	Desvio padrão δ	coeficiente de Person C_p
2005	2,00	1,71	2,00	0,012	0,074	0,27	0,134
2006	1,96	2,20	2,22	0,020	0,073	0,27	0,137
2007	2,22	2,32	2,04	0,032	0,036	0,19	0,085
2008	2,24	2,22	2,22	0,036	0,065	0,25	0,113
2009	1,88	2,33	2,06	0,036	0,300	0,55	0,296
Valores médio	2,06	2,16	2,10	0,027	0,110	0,31	//////////////// ////////////////

Segundo os dados mensais da velocidade do vento fornecidos pelo INAM (anexo 1), o Distrito de Xai-Xai tem uma velocidade média anual de cerca de 7,398km/h, o que equivale a cerca de 2,0 m/s. A moda da velocidade e de cerca de 2,16m/s.

De salientar que os dados da velocidade média têm uma dispersão de cerca de 0,31 o que nós consideramos média dispersão.

4.2.2. Velocidade do Vento Durante a Semana

Com base nos dados da velocidade do vento (anexo nº2) do Distrito de Xai-Xai, fornecidos pela INAM-Gaza, foi possível calcular (apêndice 3) a média, moda e mediana da velocidade do vento entre os dias 18 e 24 como atesta a tabela nº3.

Tabela 3: Média, moda e mediana da velocidade do vento entre os dias 18 e 24 de Janeiro de 2010

Data	$\bar{v}_{vento} (Km / h)$	Moda	Mediana
18-01-2010	8,15	7,28	8,12
19-01-2010	9,36	9,97	9,80
20-01-2010	10,60	18,70	12,1
21-01-2010	9,60	12,9	12,66
22-01-2010	5,90	9,33	3,05
23-01-2010	7,09	8,60	7,15
24-01-2010	4,96	1,70	3,70

De 18 à 24 de Janeiro do ano em curso e concretamente das 8 às 18 horas fez se medições dos valores de tensão e intensidade. Estes valores eram medidos de uma em uma hora de tempo respeitando a medição da velocidade do vento feita pela INAM-Gaza.

Os valores medidos através do multímetro eram preenchidos na tabela patente no apêndice 1.

Os dados colhidos pela INAM – Gaza durante a semana de experimentação não estão muito desfasados com os valores médios anuais da velocidade do vento neste ponto do país.

4.3. Variações da Tensão e da Intensidade durante o carregamento da bateria

Os dados que compõe a tabela 4 são relativos às variações diárias da tensão e da intensidade durante o carregamento da bateria. Portanto a tabela 4 foi preenchida com base nos cálculos em apêndice 4.

Tabela 4: Variações da tensão e da intensidade adquiridas pela bateria entre os dias 18 e 24 de 01 de 2010

Data	$\Delta U(V)$	$\Delta I(mA)$
18-01-2010	0,07	11,82
19-01-2010	0,39	0,11
20-01-2010	0,76	24,52
21-01-2010	0,28	0,05
22-01-2010	0,01	0,02
23-01-2010	0,01	0,06
24-01-2010	0,89	11,01

A variação da intensidade assim como da tensão depende muito da variação da velocidade do vento. Entretanto, podemos notar que a afirmação feita no período anterior é sustentada através dos dados colhidos no dia 20 presentes nas tabelas 3 e 4. portanto neste dia houve maior variação da velocidade do vento e por conseguinte a variação da tensão e da intensidade também aumentou.

4.4. Tensão e Intensidade médias adquiridas pela bateria

Com base nos dados apresentados na tabela 4 determinou-se (os cálculos estão apresentados em apêndice 5) a média, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da tensão e da intensidade adquiridas pela bateria durante os 7 dias. São estes os dados que compõe a tabela 5.

Tabela 5: Média, mediana, desvio padrão da variação da tensão e da intensidade adquiridas pela bateria durante os 7 dias.

Grandeza	Valor médio	Moda	Mediana	Desvio padrão
Tensão (V)	0,37	0,18	0,27	0,30
Intensidade (mA)	7,4575	4,10	5,38	6,83

4.5. Potência gerada pelo sistema

Com base nos cálculos feitos em apêndice 6 obteve-se as potências média e máxima geradas pelo sistema durante a semana das 8 às 18 horas.

Tabela 6: Valores da potência média e máxima gerada pelo sistema

Potência (mW)	P_{med}	$P_{máx}$
Valores	0,14	2,8

5. Interpretação dos Resultados

5.1. Conversão de energia

Como se tinha projectado, o sistema faz a conversão (produção) da energia eólica em eléctrica embora seja numa escala menor tal como se pode averiguar na tabela em apêndice 1.

A tensão e a intensidade medida com circuito aberto nos dá os valores instantâneos destas grandezas. Em geral verifica-se maior carregamento da bateria quando os valores instantâneos da tensão e da intensidade são elevados. portanto, isto equivale a dizer que para um rápido carregamento da bateria é necessário que a velocidade do vento permaneça por muito tempo com um valor muito alto. Podemos dar como exemplo os valores registados no dia 20 de Janeiro (tabela 3).

5.2. Interpretação da velocidade do vento (2005-2009)

Para facilitar a compreensão dos resultados concernentes a velocidade do vento para os últimos 5 anos sentimos a necessidade de colocar os dados e as respectivas resoluções neste ítem.

5.2.1. Velocidade do vento com maior frequência

Analisando a tabela 2, a prior se vê que a velocidade $v \geq 2m/s$ aparece com maior frequência. Porém, procuremos agora mostrar isso, tomando como recurso a teoria probabilística.

Entretanto, para a dimensão da nossa amostra (5 anos) procuremos a probabilidade de 3 amostras. Dos 5, tomaremos o valor $v \geq 2m/s$, sabendo-se que neste caso $k = 3 \text{ anos}$.

$$1^o) P_{(v \geq 2)} = \frac{k}{n} = \frac{3}{5} \text{ e } P_{(v < 2)} = \frac{n-k}{n} = \frac{2}{5}$$

Usando: $P_n(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot p^k \cdot q^{n-k}$ obteremos;

$$P_5(3) = \frac{5!}{3!(5-3)!} \cdot \left(\frac{3}{5}\right)^3 \cdot \left(\frac{2}{5}\right)^{5-3} = 0,3456$$

2º) Em seguida calculemos a probabilidade de 2 amostras dos 5 anos, entretanto, tomaremos o valor $v < 2m/s$.

$$P_5(2) = \frac{5!}{3!(5-2)!} \cdot \left(\frac{2}{5}\right)^2 \cdot \left(\frac{3}{5}\right)^{5-2} = 0,2304$$

Como se pode ver, a probabilidade de encontrarmos a velocidade $v = 2m/s$ é maior no intervalo de $v \geq 2m/s$ que no intervalo de $v < 2m/s$. Entretanto esta pode ser considerada como uma das evidências de que o Distrito de Xai-Xai de facto é um potencia eólico.

5.2.2. Teste de hipótese e determinação de intervalo de confiança

Considerando:

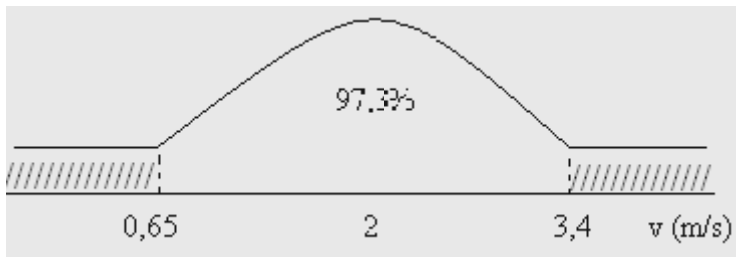
- Hipótese nula $H_o = 2m/s$;
- Hipótese estatística por testar $H_1 > 2m/s$ e;
- Hipótese alternativa de acordo com a tabela 2 terá:
 - a) Desvio padrão médio: $\delta_{med} = 0,31$;
 - b) Erro padrão médio: $\alpha_{med} = 0,027$;
 - c) Variância: $\delta_{med}^2 = 0,11$;
 - d) Velocidade média: $v_{med} \approx 2,1m/s$;
 - e) O estimador da média: $\mu = 2m/s$;
 - f) O tamanho da amostra: $n = 5$

A variável padronizada da velocidade média:

$$Z = \frac{v_{med} - \mu}{\frac{\delta_{med}}{\sqrt{n}}} = \frac{2,1 - 2}{\frac{0,31}{\sqrt{5}}} = 0,72$$

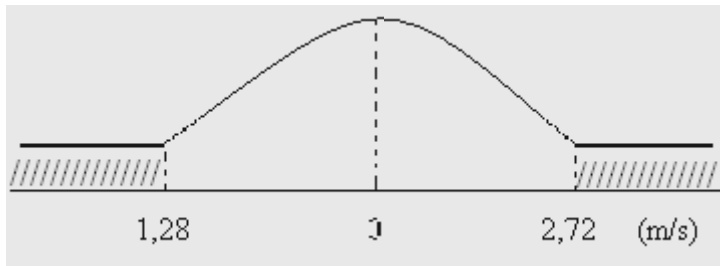
Tendo em conta o erro médio ($\alpha_{med} = 0,027$), podemos afirmar que o grau de confiança é dada pela seguinte expressão: $1 - \alpha_{med}$ o que significa que $1 - 0,027 = 0,973$. Portanto, o que equivale a dizer que temos uma confiança de cerca de 97,3% como indica o gráfico 1.

Gráfico 1: Distribuição das médias das velocidades



A seguir vamos apresentar o gráfico que ilustra de forma clara a distribuição normal das médias das velocidades.

Gráfico 2: Distribuição normal padrão



Os valores $1,28\text{ m/s}$ e $2,72\text{ m/s}$ são obtidos através das fórmulas $H_0 - Z$ e $H_0 + Z$ respectivamente.

Tabela 7: Sintetização de teste de hipóteses estatística

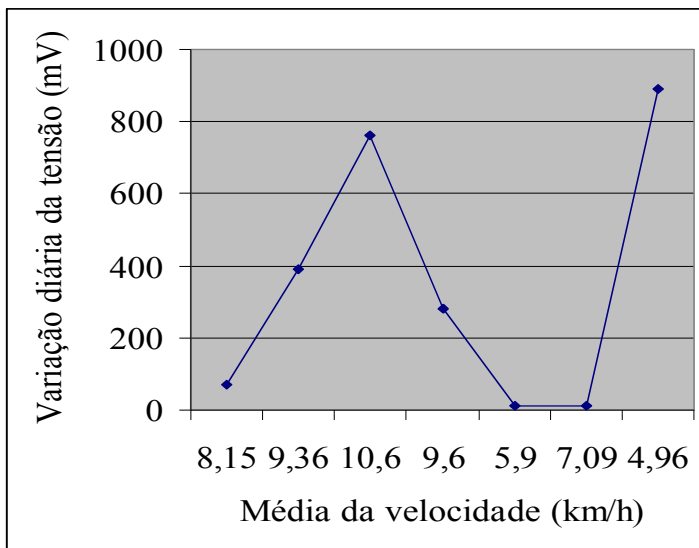
		Realidade	
		V-verdade	F-falso
Decisão	Aceitar $2 < v < 2,72$	X	
	Rejeitar $2 < v < 2,72$	Erro do tipo I	X
Decisão	Aceitar $2 < v < 1,28$	Erro do tipo II	X
	Rejeita $2 < v < 1,28$	X	

Esta tabela é o resultado da intersecção entre o gráfico da distribuição normal padrão (gráfico 2), hipótese nula ($H_o = 2m/s$) e a hipótese alternativa.

5.3. Relação entre a variação da velocidade do vento e da tensão

Conjugando as velocidades médias e as variações da tensão (adquiridas pela bateria) patentes nas tabelas 3 e 4 respectivamente construímos o gráfico 3 que relaciona estas duas grandezas.

Gráfico 3: Variação da tensão diária em função da velocidade média



Analisando os resultados experimentais com os teóricos, observamos que eles apresentam uma boa concordância. O gráfico 3 mostra os valores medidos da variação da tensão adquirida pela bateria em função da velocidade média do vento. Portanto, a curva mostra que quanto maior for a variação da velocidade tanto maior será a variação da tensão a ser registada na bateria.

Observamos também que com uma velocidade de 4,96km/h registou-se uma tensão de 890 mV entretanto, isto pode ter ocorrido devido ao erro na leitura da velocidade do vento ou de da tensão.

É importante salientar que os valores patentes na tabela 3 estão susceptíveis a grandes erros, isto porque, tal como se pode ver o anexo 2 foi preenchido com base nos valores

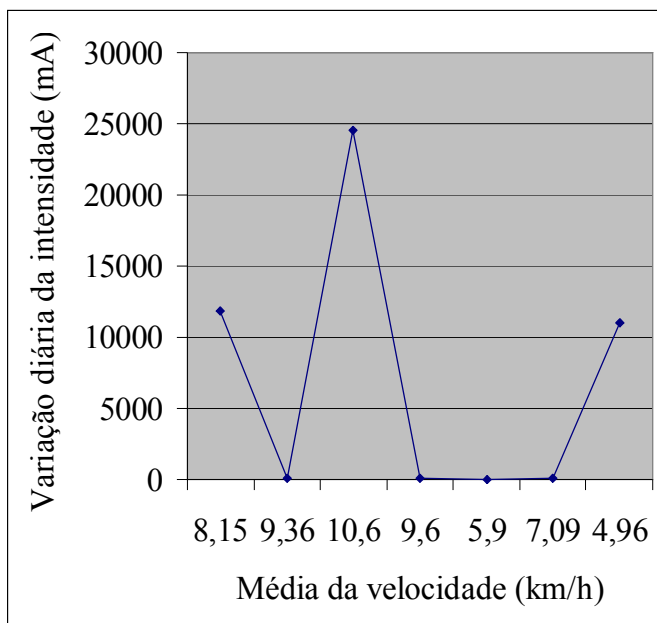
instantâneos da velocidade. Segundo o técnico da INAM – Gaza a observação⁵ do comportamento do vento é feita de 1 em 1 hora de tempo.

De uma ou de outra maneira a informação dada no parágrafo anterior pode justificar a anomalia que se verifica no comportamento do gráfico 3, onde com menor velocidade média regista-se maior variação da tensão.

5.4. Relação entre a variação da velocidade do vento e da intensidade

Ao combinarmos os valores das velocidades médias e as variações da intensidade (adquirida pela bateria) patentes nas tabelas 3 e 4 respectivamente construímos o gráfico 4 que relaciona estas duas grandezas.

Gráfico 4: Variação da intensidade diária em função da velocidade média



O gráfico 4 concernente à relação entre a variação da intensidade em função da velocidade média do vento também não foge da regra, isto é, regista-se maior variação da intensidade durante o maior valor médio da velocidade do vento, neste caso atinge-se o pico da variação da intensidade quando a velocidade média é de 10,60 km/h.

⁵ Segundo o técnico de INAME – Gaza o anemógrafo desta delegação está avariado, entretanto, a leitura da velocidade do vento é feita com base numa estimativa a qual se baseia também no comportamento (abanar) das árvores.

Note que quando se regista as velocidades de 9,36; 9,6; 5,9 e 7,09 km/h, aparentemente a intensidade adquirida pela bateria é nula. De facto, isto não passa de uma aparência, porque na prática não é isso que acontece, segundo os dados da tabela 4, existe uma intensidade adquirida pela bateria embora seja menor. Tal como se sabe a paisagem⁶ do Distrito de Xai-Xai não está distribuída de maneira uniforme.

5.5. Tensão e intensidade adquirida pela bateria

A velocidade média do vento durante a experimentação no Distrito de Xai-Xai foi de 7,95km/h. Por conseguinte foi com base nesta velocidade média do vento que o sistema eólico gerou a corrente eléctrica e a bateria armazenou uma média de 0,37V e 7,4575 mA.

De salientar que o carregamento da bateria começou enquanto ela tinha 1,87V de tensão e 53,60 mA de intensidade e terminou o carregamento com uma tensão de cerca de 4,20V e uma intensidade de 101,03mA, segundo a tabela em apêndice 1. Entretanto este carregamento pode ser considerado positivo embora o ganho da corrente possa ser menor em relação ao tempo gasto pelo carregamento. Isto porque, foram necessárias 70 horas para elevar de 1,87V para 4,20V.

Diante daquilo que se explanou no parágrafo anterior, há que destacar que o vento que gerava corrente eléctrica só se fazia sentir a tarde. Mas é bom frisar que esta afirmação não coloca de lado a possibilidade de se montar as unidades eólicas no Distrito de Xai-Xai porque já se provou no item 5.2.1. que este distrito é um verdadeiro potencial eólico.

5.6. Potência

Durante a experimentação o protótipo gerou potência média e máxima de 0,14 e 2,8 mW respectivamente. Importa frisar aqui que a potência do protótipo depende da área varrida pelos cafulos e pelo cubo da velocidade conforme a equação (11). Portanto esta potência pode ser aumentada bastando para tal aumentar a área das conchas.

Segundo as médias mensais da velocidade do vento pode se dizer que o rendimento anual do sistema seria muito baixo, considerando os valores dos últimos 5 anos. Mas se formos a observar os dados, havemos de notar que o valor médio anual da velocidade tende a crescer

⁶ É um dos factores que mais influencia a velocidade do vento.

devido ao aquecimento global. E tal como se referenciou anteriormente o aquecimento global é um dos factores que influencia na produção de energia eléctrica a partir das unidades eólicas.

6. Conclusões

Após ter sido feita a experimentação e a observação do fenómeno constatamos que o aerogerador produz a corrente eléctrica. E esta constatação leva-nos a concluir que com o potencial eólico existente no distrito, a montagem destas unidades eólicas é funcional no Distrito de Xai-Xai.

Como se tinha previsto no projecto, o sistema carrega baterias e no nosso ponto de vista o carregamento é positivo embora não possamos considerá-lo eficaz devido ao tempo necessário para o efeito. Na nossa óptica o tempo levado para o carregamento da bateria é relativamente longo.

A moda anual da velocidade do vento no Distrito de Xai-Xai oscila no intervalo de 2 a 2,7 m/s e isto deixa claro que este distrito é um potencial eólico.

As curvas da variação da tensão e da intensidade em função da média da velocidade do vento revelam-nos que durante a experimentação houve uma maior variação destas grandezas quando a velocidade atingiu média de cerca de 10,6km/h. Conjugando este facto com o “aparente” crescimento da média da velocidade nos últimos 5 anos concluímos que ao aumentar a área varrida pelo vento no rotor é possível aumentar o rendimento do instrumento.

Esta unidade eólica por ter sido construído com material de fácil acesso/baixo custo, pode ser usado pelas comunidades menos favorecidas, no desenvolvimento da ciência e tecnologia, nos laboratórios, assim como, no PEA de Física exactamente no capítulo em que se aborda a transformação de energia, para ilustrar e discutir o processo de transformação de energia.

7. Recomendações, Sugestões e Dificuldades

Em jeito de recomendação, gostava de apelar a Direcção Regional – Sul da Ciência e Tecnologia para que apostasse na disseminação do presente trabalho com a perspectiva de ajudar as comunidades que se localizam em zonas com um potencial eólico forte.

Aos outros investigadores interessados em dar continuidade deste trabalho, há que apostar em acoplar no sistema um controlador de carga, usar um dínamo que com pouca rotação produza maior quantidade de energia, aumentar a área das conchas usando outro tipo de material (chapa de alumínio, plástico, barro,...) e ou associar em série dois dínamos.

O ministério de energia e em particular a Direcção de Energias Novas e Renováveis deve incentivar e apoiar trabalhos de pesquisa que estão mais virados à energias renováveis.

Gostava também de aproveitar esta oportunidade indicando algumas dificuldades que encaramos durante a realização deste trabalho:

Devido à falta de fundo não foi possível acoplar ao sistema um controlador de carga que permite indicar a quantidade de carga que a bateria recebe assim como, evitar a danificação ou descarregamento da bateria.

Uma das dificuldades por nós encarada e que mereça grande destaque é falta de informação escrita sobre a energia eólica em Moçambique.

8. Bibliografia

BERTOLI Roberto Angelo. *Electrónica*, Brasil, Editora: UNICAMP, 2000.

BRITO, Sérgio de Salvo. *Energia Eólica. Princípios e Tecnologias*, Brasil, CEPTEL Grupo Electrobás, 2008.

FACULDADE DE LETRAS-UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE. *Geografia: manual da 10ª classe*, Maputo, Editora: MEC, 1982.

MONTEZANO, B.E.M.. *Modelo Dinâmico de Visualização de um Aerogerador com Velocidade de Rotação Variável e Controle de Passo em VRML. Projeto de Graduação, Departamento de Engenharia Elétrica*, Rio de Janeiro, UFRJ, 2007.

PAVINATTO, Eduardo Fiorini. *Ferramenta para auxílio à análise de viabilidade técnica da conexão de parques eólicos à rede elétrica. Dissertação de M.Sc.* Rio de Janeiro, Programa de Engenharia Elétrica, COPPE/UFRJ, 2005.

SILVA Mário Adelino Varejão. *Meteorologia e Climatologia*, Recife, S/ed., 2005

9. Anexo

10. Apêndice

➤ Apêndice1

TabelaI: Grandezas físicas medidas

Usando o multímetro preencha os possíveis dados respeitando a tabela abaixo sem se esquecer de colocar a data e a hora. Toda anomalia deve ser escrita no trecho que corresponde à observação.

Data	Hora	Tensão(v) c/ circuito aberto	Corrente (mA) c/ circuito aberto	Tensão (V) c/ circuito fechado	Corrente (mA) c/ circuito fechado	Tensão(v) na bateria	Corrente (mA) na bateria
18	08	0	0	1,87	53,60	1,87	53,60
	09	1,46	34,80	1,89	50,01	1,88	53,60
	10	1,45	34,40	1,88	55,31	1,88	54,03
	11	1,39	33,80	1,88	54,00	1,88	53,43
	12	1,41	34,3	1,88	51,03	1,88	53,93
	13	2,43	58,00	1,92	60,03	1,90	58,09
	14	2,03	47,90	1,91	60,01	1,90	58,10
	15	2,31	53,70	1,93	63,32	1,91	57,48
	16	2,47	59,01	1,93	62,35	1,91	58,98
	17	3,18	75,30	1,96	68,21	1,93	62,03
	18	3,24	77,01	2,01	76,31	1,94	65,42
19	08	1,70	40,71	1,92	63,46	1,94	65,42
	09	1,79	41,41	1,92	63,46	1,94	65,44
	10	1,78	41,07	1,92	63,46	1,94	65,49
	11	2,44	58,01	2,43	63,90	2,12	65,49
	12	2,39	56,34	2,42	63,91	2,12	65,50
	13	2,33	56,02	2,43	63,89	2,12	65,48
	14	2,43	57,00	2,43	63,91	2,13	65,49
	15	2,44	57,98	2,42	62,98	2,12	65,46
	16	2,68	63,80	2,64	63,05	2,31	65,53
	17	2,59	50,09	2,64	59,08	2,31	65,52
	18	2,67	58,07	2,65	62,00	2,33	65,51

20	08	0	0	2,65	62,00	2,33	65,51
	09	0	0	2,65	62,00	2,33	65,51
	10	1,79	41,41	2,31	64,96	2,33	65,50
	11	1,78	41,07	2,30	64,47	2,33	65,48
	12	2,68	63,80	2,35	64,00	2,33	65,39
	13	2,33	56,02	2,33	63,45	2,33	65,41
	14	3,65	87,00	2,60	73,56	2,44	68,76
	15	4,13	98,60	3,80	80,98	2,53	71,43
	16	4,62	110,20	4,06	103,01	2,75	79,68
	17	4,62	110,20	4,07	101,98	2,80	81,33
	18	5,36	127,59	5,01	111,93	3,09	90,03
21	08	1,41	34,30	3,00	89,54	3,03	90,00
	09	1,94	46,40	3,01	89,59	3,03	90,01
	10	2,92	69,60	3,01	89,46	3,03	90,01
	11	2,92	69,60	3,01	88,98	3,03	90,01
	12	2,33	56,02	3,00	88,98	3,03	90,01
	13	2,37	56,02	3,00	88,98	3,03	90,01
	14	2,45	56,02	3,00	88,98	3,03	90,01
	15	3,22	81,2	3,11	89,13	3,08	90,00
	16	3,64	87,01	3,48	88,45	3,20	90,02
	17	3,69	91,10	3,52	90,00	3,25	90,04
	18	3,70	90,08	3,65	90,03	3,31	90,05
22	08	0	0	3,30	90,05	3,31	90,05
	09	0	0	3,29	90,05	3,30	90,05
	10	0	0	3,31	90,05	3,31	90,05
	11	0	0	3,31	90,05	3,31	90,05
	12	1,41	34,30	3,27	90,01	3,31	90,03
	13	1,41	34,30	3,28	90,00	3,31	90,04
	14	1,41	34,30	3,27	90,00	3,31	90,05
	15	2,92	69,60	3,30	90,01	3,31	90,05

	16	2,92	69,60	3,31	90,00	3,31	90,05
	17	2,92	69,60	3,30	90,00	3,31	90,05
	18	2,92	69,60	3,30	90,01	3,31	90,05
23	08	0	0	3,31	90,01	3,31	90,05
	09	0	0	3,31	90,00	3,31	90,05
	10	0	0	3,30	90,00	3,31	90,05
	11	0,97	23,2	3,30	90,01	3,31	90,05
	12	1,41	34,30	3,31	90,02	3,31	90,06
	13	1,41	34,30	3,31	90,01	3,31	90,05
	14	2,92	69,60	3,30	90,01	3,31	90,05
	15	1,99	44,08	3,30	90,00	3,31	90,03
	16	2,68	63,80	3,31	89,00	3,32	90,00
	17	2,92	69,60	3,31	89,46	3,32	90,01
	18	2,33	56,02	3,30	88,45	3,32	90,01
24	08	0	0	3,31	90,01	3,31	90,05
	09	0	0	3,31	90,01	3,31	90,05
	10	0	0	3,31	90,00	3,31	90,05
	11	0	0	3,31	90,00	3,31	90,03
	12	0	0	3,31	90,01	3,31	90,05
	13	0	0	3,31	90,00	3,31	90,03
	14	1,79	41,41	3,30	90,00	3,31	90,02
	15	2,33	56,02	3,31	90,01	3,31	90,02
	16	2,33	56,02	3,31	90,01	3,31	90,02
	17	2,33	56,02	3,30	90,00	3,31	90,02
	18	4,13	98,60	4,01	97,03	4,20	101,03

Observação: O que se verifica durante a medição da intensidade é a variação desta grandeza. Porém, já que havia esta oscilação durante a medição registava-se o primeiro valor que constasse no visor do multímetro.

➤ **Apêndice2**

GUIA DE CÁLCULO DA MÉDIA, MODA, MEDIANA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO (2005-2009)

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o ano 2005

Rol: 5,9; 6,0; 6,1; 6,3; 6,4; 7,4; 7,4; 7,6; 8; 8,5; 8,6; 8,6

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 8,6 - 5,9 = 2,7 ; \quad \text{Seja } n = 12; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,47 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{2,7}{5} = 0,54$$

$$\text{Classe Modal : } [5,90 - 6,44[; \quad l_i = 5,90$$

$$\frac{n}{2} = \frac{12}{2} = 6; \quad \text{Classe Mediana : } [6,98 - 7,52[; \quad l_i = 6,98$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[5,90 - 6,44[$	6,17	5	5	30,85	1,06	5,30
$[6,44 - 6,98[$	6,71	0	5	0	0,24	0
$[6,98 - 7,52[$	7,25	2	7	14,5	0,003	0,006
$[7,52 - 8,06[$	7,79	1	8	7,79	0,34	0,24
$[8,06 - 8,60]$	8,33	4	12	33,32	1,27	5,08
Σ	36,25	12	37	86,46	2,91	10,62

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{86,46}{12} = 7,20 \text{ Km / h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$\text{Mod} = 5,90 + \left(\frac{5 - 0}{2 \cdot 5 - (0 + 0)} \right) \cdot 0,54 = 6,17$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = l_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 6,98 + \frac{6 - 5}{2} \cdot 0,54 = 7,25; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{10,62}{12 - 1} = 0,96$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{0,96} = 0,97; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \% = \frac{0,97}{7,20} \cdot 100 \% = 13,4 \%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o ano 2006

Rol: 5,4; 5,7; 5,8; 6,9; 7,0; 7,1; 7,3; 7,7; 7,7; 7,9; 8, 1; 8,2;

$$A_i = X_{\max} - X_{\min} = 8,2 - 5,4 = 2,8 ; \quad \text{Seja } n = 12; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 12 = 4,47 \approx 5$$

$$h = \frac{A_i}{K} = \frac{2,8}{5} = 0,56$$

$$\text{Classe Modal : } [7,64 - 8,20]; \quad l_i = 7,64$$

$$\frac{n}{2} = \frac{12}{2} = 6; \quad \text{Classe Mediana : } [7,08 - 7,64]; \quad l_i = 7,08$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
[5,40 – 5,96[	5,58	3	3	16,74	2,16	6,48
[5,96 – 6,52[	6,24	0	3	0	0,65	0
[6,52 – 7,08[	6,80	2	5	13,60	0,06	0,12
[7,08 – 7,64[	7,36	2	7	14,72	0,09	0,18
[7,64 – 8,20]	7,92	5	12	39,60	0,75	3,75
Σ	33,90	12	30	84,66	3,71	10,53

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{84,66}{12} = 7,05 \text{ Km / h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$\text{Mod} = 7,64 + \left(\frac{5 - 2}{2 \cdot 5 - (2 + 0)} \right) \cdot 0,56 = 7,92$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = l_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 7,7 + \frac{6 - 5}{2} \cdot 0,56 = 7,98; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{10,53}{12 - 1} = 0,95$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{0,95} = 0,97; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,97}{7,05} \cdot 100\% = 13,7\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação da velocidade do vento para o ano 2007

Rol: 6,7; 7,0; 7,1; 8,0; 8,0; 8,1; 8,4; 8,5; 8,6; 8,6; 8,7; 9,2

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 9,2 - 6,7 = 2,5 ; \quad \text{Seja } n = 12; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 12 = 4,47 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{2,5}{5} = 0,50$$

$$\text{Classe Modal : } [8,2 - 8,7[; \quad l_i = 8,2$$

$$\frac{n}{2} = \frac{12}{2} = 6; \quad \text{Classe Mediana : } [7,7 - 8,2[; \quad l_i = 7,7$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[6,7 - 7,2[$	6,95	3	3	20,85	1,08	3,24
$[7,2 - 7,7[$	7,45	0	3	0	0,29	0
$[7,7 - 8,2[$	7,95	3	6	23,85	0,002	0,006
$[8,2 - 8,7[$	8,45	5	11	42,25	0,21	1,05
$[8,7 - 9,2]$	8,95	1	12	8,95	0,92	0,92
Σ	39,75	12	35	95,90	2,50	5,21

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{95,90}{12} = 7,99 \text{ Km / h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$\text{Mod} = 8,2 + \left(\frac{5 - 3}{2 \cdot 5 - (3 + 1)} \right) \cdot 0,50 = 8,36$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = l_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 7,08 + \frac{6 - 5}{2} \cdot 0,56 = 7,36; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{5,21}{12 - 1} = 0,47$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{0,47} = 0,68; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,68}{7,99} \cdot 100\% = 8,5\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o ano 2008

Rol: 6,7; 7,2; 7,3; 7,5; 7,7; 7,9; 8,0; 8,1; 8,6; 8,8; 9,6; 9,9

$$A_i = X_{\max} - X_{\min} = 9,9 - 6,7 = 3,2 ; \text{ Seja } n = 12; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 12 = 4,47 \approx 5$$

$$h = \frac{A_i}{K} = \frac{3,2}{5} = 0,64$$

$$\text{Classe Modal : } [6,70 - 7,34[; \quad l_i = 6,70$$

$$\frac{n}{2} = \frac{12}{2} = 6; \text{ Classe Mediana : } [7,34 - 7,98[; \quad l_i = 7,34$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
[6,70 - 7,34[	7,02	3	3	21,06	1,20	3,76
[7,34 - 7,98[	7,66	3	6	22,98	0,10	0,30
[7,98 - 8,62[	8,30	3	9	24,90	0,04	0,12
[8,62 - 9,26[	8,94	1	10	8,94	0,73	0,73
[9,26 - 9,90]	9,58	2	12	19,16	2,25	4,50
Σ	42,50	12	40	97,04	3,32	9,41

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{97,04}{12} = 8,08 \text{ Km/h};$$

$$Mod = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$Mod = 7,34 + \left(\frac{3 - 0}{2 \cdot 3 - (0 + 3)} \right) \cdot 0,64 = 7,98$$

Mediana

Variância

$$Med = l_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 7,34 + \frac{6 - 3}{3} \cdot 0,64 = 7,98;$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{9,41}{12 - 1} = 0,85$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{0,85} = 0,92;$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,92}{8,08} \cdot 100\% = 11,3\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o ano 2009

Rol: 3,5; 4,5; 4,6; 5,0; 5,1; 7,9; 7,9; 8,2; 8,2; 8,3; 8,5; 9,1

$$A_i = X_{\max} - X_{\min} = 9,1 - 3,5 = 5,6 \quad ; \quad \text{Seja } n = 12; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 12 = 4,47 \approx 5$$

$$h = \frac{A_i}{K} = \frac{5,6}{5} = 1,12$$

$$\text{Classe Modal : } [7,98 - 9,10]; \quad l_i = 7,98$$

$$\frac{n}{2} = \frac{12}{2} = 6; \quad \text{Classe Mediana : } [6,86 - 7,98]; \quad l_i = 6,86$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
[3,50 – 4,62[	4,06	3	3	12,18	6,81	20,43
[4,62 – 5,74[	5,18	2	5	10,36	2,22	4,44
[5,74 – 6,86[	6,30	0	5	0	0,13	0
[6,86 – 7,98[	7,42	2	7	14,84	0,56	1,12
[7,98 – 9,10]	8,54	5	12	42,70	3,49	17,45
Σ	31,50	12	32	80,08	13,21	43,44

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{80,08}{12} = 6,67 \text{ Km / h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$\text{Mod} = 7,98 + \left(\frac{5 - 2}{2 \cdot 5 - (2 + 0)} \right) \cdot 1,12 = 8,40$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = l_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 6,86 + \frac{6 - 5}{2} \cdot 1,12 = 7,42; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{43,44}{12 - 1} = 3,94$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{3,94} = 1,98; \quad C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{1,98}{6,67} \cdot 100\% = 29,6\%$$

➤ **Apêndice 3**

GUIA DE CÁLCULO DA MÉDIA, MODA, MEDIANA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o dia 18-01-10, das 08h as 18h.

Rol: 0, 6, 6, 6, 6, 10, 10, 10, 11, 13, 13

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 13 - 0 = 13 \quad ; \quad \text{Seja } n = 11; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,35 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{13}{5} = 2,6$$

$$\text{Classe Modal} : [5,2 - 7,8[; \quad Li = 5,2$$

$$\frac{n}{2} = \frac{11}{2} = 5,5; \quad \text{Classe Mediana} : [5,2 - 7,8[; \quad Li = 5,2$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[0 - 2,6[$	1,3	1	1	1,3	46,9	46,9
$[2,6 - 5,2[$	3,9	0	1	0	18,0	0
$[5,2 - 7,8[$	6,5	4	5	26	2,7	10,8
$[7,8 - 10,4[$	9,1	3	8	27,3	0,9	2,7
$[10,4 - 13]$	11,7	3	11	35,1	12,6	37,8
Σ	32,5	11	26	89,7	81,1	98,2

Média

Moda

$$U_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{89,7}{11} = 8,15 \text{ Km / h}; \quad M_{od} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$M_{od} = 5,2 + \left(\frac{4 - 0}{2 \cdot 4 - (0 + 3)} \right) \cdot 2,6 = 7,28$$

Mediana

Variância

$$Med = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 5,2 + \frac{5,5 - 1}{4} \cdot 2,6 = 8,12; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{98,2}{11 - 1} = 9,82$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{9,82} = 3,13; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{3,13}{8,15} \cdot 100\% = 38,4\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o dia 19-01-10, das 08h as 18h.

Rol: 7, 7, 7, 10, 10, 10, 10, 10, 11, 11, 11

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 11 - 7 = 4 ; \text{ Seja } n = 11; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,35 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{4}{5} = 0,8$$

$$\text{Classe Modal : } [9,4 - 10,2[; \quad l_i = 9,4$$

$$\frac{n}{2} = \frac{11}{2} = 5,5; \text{ Classe Mediana : } [9,4 - 10,2[; \quad l_i = 9,4$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[7 - 7,8[$	7,4	3	3	22,2	3,8	11,4
$[7,8 - 8,6[$	8,2	0	3	0	1,3	0
$[8,6 - 9,4[$	9,0	0	3	0	0,1	0
$[9,4 - 10,2[$	9,8	5	8	49	0,1	0,5
$[10,2 - 11]$	10,6	3	11	31,8	1,5	4,5
Σ	45	11	28	103	6,8	16,4

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{103}{11} = 9,36 \text{ Km / h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$\text{Mod} = 9,4 + \frac{5 - 0}{2 \cdot 5 - (0 + 3)} \cdot 0,8 = 9,97$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 9,4 + \frac{5,5 - 3}{5} \cdot 0,8 = 9,8; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{6,8}{11 - 1} = 0,68$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{0,68} = 0,82; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,82}{9,36} \cdot 100\% = 8,7\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o dia 20-01-10, das 08h as 18h.

Rol: 0, 0, 7, 7, 11, 13, 15, 17, 19, 19, 22

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 22 - 0 = 22 ; \text{ Seja } n = 11; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,35 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{22}{5} = 4,4$$

$$\text{Classe Modal : } [17,6 - 22]; \quad l_i = 17,6$$

$$\frac{n}{2} = \frac{11}{2} = 5,5; \text{ Classe Mediana : } [8,8 - 13,2]; \quad l_i = 8,8$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[0 - 4,4[$	2,2	2	2	4,4	70,5	141
$[4,4 - 8,8[$	6,6	2	4	13,2	16,0	32
$[8,8 - 13,2[$	8,8	2	6	17,6	3,2	6,4
$[13,2 - 17,6[$	11	2	8	22	0,1	0,2
$[17,6 - 22]$	19,8	3	11	59,4	84,6	253,8
Σ	48,4	11	31	116,6	174,4	433,4

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{116,6}{11} = 10,60 \text{ Km/h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$\text{Mod} = 17,6 + \left(\frac{3 - 2}{2 \cdot 3 - (2 + 0)} \right) \cdot 4,4 = 18,7$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 8,8 + \frac{5,5 - 4}{2} \cdot 4,4 = 12,1; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{433,4}{11 - 1} = 43,34$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{43,34} = 6,5; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{6,5}{10,60} \cdot 100\% = 62,1\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o dia 21-01-10, das 08h as 18h.

Rol: 6, 8, 12, 12, 13, 13, 13, 14, 15, 15, 15

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 15 - 6 = 9 ; \text{ Seja } n = 11; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,35 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{9}{5} = 1,8$$

$$\text{Classe Modal : } [11,4 - 13,2[; \quad l_i = 11,4$$

$$\frac{n}{2} = \frac{11}{2} = 5,5; \text{ Classe Mediana : } [11,4 - 13,2[; \quad l_i = 11,4$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[6 - 7,8[$	6,8	1	1	6,8	7,84	7,84
$[7,8 - 9,6[$	8,7	1	2	8,7	0,81	0,81
$[9,6 - 11,4[$	10,5	0	2	0	0,81	0
$[11,4 - 13,2[$	12,3	5	7	34,0	7,29	285,7
$[13,2 - 15]$	14,1	4	11	56,4	20,25	81
Σ	52,2	11	23	105,9	37	375,3

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{105,9}{11} = 9,6 \text{ Km/h};$$

$$Mod = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$Mod = 11,4 + \left(\frac{5 - 0}{2 \cdot 5 - (0 + 4)} \right) \cdot 1,8 = 12,9$$

Mediana

Variância

$$Med = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 11,4 + \frac{5,5 - 2}{5} \cdot 1,8 = 12,66;$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{375,3}{11 - 1} = 37,53$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{37,53} = 6,12;$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{6,12}{9,6} \cdot 100\% = 63,75\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o dia 22-01-10, das 08h as 18h.

Rol: 0, 0, 0, 0, 6, 6, 6, 10, 10, 10, 10

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 10 - 0 = 10 ; \text{ Seja } n = 11; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,35 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{10}{5} = 2$$

Classe Modal : ; $l_i = 5,2$

$$\frac{n}{2} = \frac{11}{2} = 5,5; \text{ Classe Mediana : } [6-8[; l_i = 6$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[0-2[$	2	4	4	8	15,21	60,84
$[2-4[$	3	0	4	0	8,41	0
$[4-6[$	5	0	4	0	0,81	0
$[6-8[$	7	3	7	21	1,21	3,63
$[8-10]$	9	4	11	36	9,61	28,83
Σ	26	11	30	65	37	93,3

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{65}{11} = 5,9 \text{ Km/h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

Mod =

Mediana

Variância

$$\text{Med} = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 6 + \frac{5,5 - 4}{3} \cdot 2 = 7; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{93,3}{11 - 1} = 9,33$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{9,33} = 3,05; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{3,05}{5,9} \cdot 100\% = 51,69\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o dia 23-01-10, das 08h as 18h.

Rol: 0, 0, 0, 4, 6, 6, 10, 10, 11, 12, 13

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 13 - 0 = 13 ; \text{ Seja } n = 11; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,35 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{13}{5} = 2,6$$

Classe Modal : ; $l_i = 5,2$

$$\frac{n}{2} = \frac{11}{2} = 5,5; \text{ Classe Mediana : } [5,2 - 7,8[; \quad l_i = 5,2$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[0 - 2,6[$	2,6	3	3	7,8	20,16	60,48
$[2,6 - 5,2[$	3,9	1	4	3,9	10,17	10,17
$[5,2 - 7,8[$	6,5	2	6	13	0,34	0,68
$[7,8 - 10,4[$	9,1	2	8	18,2	4,04	8,08
$[10,4 - 13]$	11,7	3	11	35,1	21,25	63,75
Σ	33,8	11	32	78	55,96	143,16

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{78}{11} = 7,09 \text{ Km/h}; \quad \text{Mod} = Li + \frac{\Delta_1}{\Delta_1 - \Delta_2} \cdot h = 5,2 + \frac{4}{4 - 1} \cdot 2,6 = 8,6$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 5,2 + \frac{5,5 - 4}{2} \cdot 2,6 = 7,15; \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{143,16}{11 - 1} = 14,31$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{14,31} = 3,78; \quad C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{3,78}{7,09} \cdot 100\% = 53,3\%$$

Cálculo da média, moda, mediana, desvio padrão e coeficiente da variação da velocidade do vento para o dia 24-01-10, das 08h as 18h..

Rol: 0, 0, 0, 0, 0, 0, 7, 13, 13, 13, 17

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 17 - 0 = 17 ; \text{ Seja } n = 11; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 11 = 4,35 \approx 5$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{17}{5} = 3,4$$

$$\text{Classe Modal : } [0 - 3,4[; \quad l_i = 0$$

$$\frac{n}{2} = \frac{11}{2} = 5,5; \text{ Classe Mediana : } [0 - 3,4[; \quad l_i = 0$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[0 - 3,4[$	1,17	6	6	7,0	14,36	86,18
$[3,4 - 6,8[$	5,1	0	6	0	0,01	0
$[6,8 - 10,2[$	6,8	1	7	6,8	3,38	3,38
$[10,2 - 13,6[$	8,5	3	10	25,5	12,53	37,59
$[13,6 - 17]$	15,3	1	11	15,3	10,34	10,34
Σ	36,87	11	40	54,6	40,62	137,49

Média

Moda

$$V_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{54,6}{11} = 4,96 \text{ Km/h}; \quad \text{Mod} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$\text{Mod} = 0 + \left(\frac{6 - 0}{2 \cdot 6 - (0 + 0)} \right) \cdot 3,4 = 1,7$$

Mediana

Variância

$$\text{Med} = Li + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 0 + \frac{5,5 - 0}{6} \cdot 3,4 = 3,11;$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{137,49}{11 - 1} = 13,74$$

Desvio Padrão

Coeficiente de Variação

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{13,74} = 3,70;$$

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{3,70}{4,96} \cdot 100\% = 74,59\%$$

➤ **Apêndice 4**

GUIA DE CÁLCULO VARIAÇÃO DIÁRIA DA TENSÃO E CORRENTE ELÉCTRICA ADQUIRIDA PELA BATERIA

Dia 18-01-10, das 08h as 18h

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} = (1,94 - 1,87)V = 0,07V \quad \Delta I = I_{\max} - I_{\min} = (65,42 - 53,60)mA = 11,82mA$$

Dia 19-01-10, das 08h as 18h

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} = (2,33 - 1,94)V = 0,39V \quad \Delta I = I_{\max} - I_{\min} = (65,53 - 65,42)mA = 0,11mA$$

Dia 20-01-10, das 08h as 18h

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} = (3,09 - 2,33)V = 0,76V \quad \Delta I = I_{\max} - I_{\min} = (90,03 - 65,51)mA = 24,52mA$$

Dia 21-01-10, das 08h as 18h

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} = (3,31 - 3,03)V = 0,28V \quad \Delta I = I_{\max} - I_{\min} = (90,05 - 90,00)mA = 0,05mA$$

Dia 22-01-10, das 08h as 18h

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} = (3,31 - 3,30)V = 0,01V \quad \Delta I = I_{\max} - I_{\min} = (90,05 - 90,03)mA = 0,02mA$$

Dia 23-01-10, das 08h as 18h

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} = (3,32 - 3,31)V = 0,01V \quad \Delta I = I_{\max} - I_{\min} = (90,06 - 90,00)mA = 0,06mA$$

Dia 24-01-10, das 08h as 18h

$$\Delta U = U_{\max} - U_{\min} = (4,20 - 3,31)V = 0,89V \quad \Delta I = I_{\max} - I_{\min} = (101,03 - 90,02)mA = 11,01mA$$

➤ **Apêndice 5**

GUIA DE CÁLCULO DA MÉDIA, MODA, MEDIANA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DA VARIAÇÃO DA TENSÃO ADQUIRIDA PELA BATERIA DURANTE 7 DIAS DAS 08H AS 18H

Rol: 0,01; 0,01; 0,07; 0,28; 0,39; 0,76; 0,89

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 0,01 - 0,89 = 0,88 \quad ; \quad \text{Seja } n = 7; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 7 = 3,72 \approx 4$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{0,88}{4} = 0,22$$

$$\text{Classe Modal : } [0,01 - 0,23[; \quad l_i = 0,01$$

$$\frac{n}{2} = \frac{7}{2} = 3,5; \quad \text{Classe Mediana : } [0,23 - 0,45[; \quad l_i = 0,23$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x}\right)^2 \cdot f_i$
$[0,01 - 0,23[$	0,12	3	3	0,36	0,0625	0,1875
$[0,23 - 0,45[$	0,34	2	5	0,68	0,0009	0,0018
$[0,45 - 0,67[$	0,56	0	5	0	0,0361	0,00
$[0,67 - 0,89]$	0,78	2	7	1,56	0,1681	0,3362
Σ	1,80	7	20	2,6	0,2676	0,5255

Média

$$U_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{2,6}{7} = 0,37 V;$$

Moda

$$M_{od} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$$

$$M_{od} = 0,01 + \left(\frac{3 - 0}{2 \cdot 3 - (0 + 2)} \right) \cdot 0,22 = 0,18$$

Mediana

$$Med = l_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 0,23 + \frac{3,5 - 3}{3} \cdot 0,22 = 0,27;$$

Variância

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{0,5255}{7 - 1} = 0,09$$

Desvio Padrão

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{0,09} = 0,30;$$

Coefficiente de Variação

$$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{0,30}{0,37} \cdot 100\% = 81,08\%$$

GUIA DE CÁLCULO DA MÉDIA, MODA, MEDIANA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DA VARIAÇÃO DA INTENSIDADE ADQUIRIDA PELA BATERIA DURANTE 7 DIAS DAS 08H AS 18H

Rol: 0,02; 0,05; 0,06; 0,11; 11,01; 11,82; 24,52

$$A_t = X_{\max} - X_{\min} = 24,52 - 0,02 = 24,50 \quad ; \quad \text{Seja } n = 7; \quad K = 1 + 3,22 \lg n = 1 + 3,22 \lg 7 = 3,72 \approx 4$$

$$h = \frac{A_t}{K} = \frac{24,50}{4} = 6,125$$

$$\text{Classe Modal : } [0,02 - 6,145[; \quad l_i = 0,02$$

$$\frac{n}{2} = \frac{7}{2} = 3,5; \quad \text{Classe Mediana : } [0,02 - 6,145[; \quad l_i = 0,02$$

Classe	\bar{x}_i	f_i	F	$\bar{x}_i \cdot f_i$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2$	$\left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i$
$[0,02 - 6,145[$	3,0825	4	4	12,33	19,1406	76,5625
$[6,145 - 12,27[$	9,2075	2	6	18,415	3,0625	6,125
$[12,27 - 18,395[$	15,3325	0	6	0	62,0156	0,00
$[18,395 - 24,52]$	21,4575	1	7	21,4575	196,00	196,00
Σ	1,80	7	23	52,2025	280,2187	278,6875

<p>Média</p> $U_{med} = \frac{\sum \bar{x}_i \cdot f_i}{\sum f_i} = \frac{52,2025}{7} = 7,4575 \text{ V};$	<p>Moda</p> $M_{od} = l_i + \left[\frac{(f_{\max} - f_{ant})}{2f_{\max} - (f_{ant} + f_{post})} \right] \cdot h$ $M_{od} = 0,02 + \left(\frac{4 - 0}{2 \cdot 4 - (0 + 2)} \right) \cdot 6,125 = 4,10$
<p>Mediana</p> $Med = l_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{ant}}{f_{Med}} \cdot h = 0,02 + \frac{3,5 - 0}{4} \cdot 6,125 = 5,38;$	<p>Variância</p> $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1} = \frac{278,6875}{7 - 1} = 46,703$
<p>Desvio Padrão</p> $\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\bar{x}_i - \bar{x} \right)^2 \cdot f_i}{\sum_{i=1}^n f_i - 1}} = \sqrt{46,703} = 6,83;$	<p>Coefficient e de Variação</p> $C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100 \% = \frac{6,83}{7,4575} \cdot 100 \% = 91,58 \%$

➤ Apêndice 6

GUIA DE CÁLCULO DA POTÊNCIA GERADA PELO SISTEMA

Área varrida pelas conchas $A = 2\pi r^2 = 2 \cdot 3,14 \cdot (0,06)^2 = 0,0226m$

$c_p = 0,59; \rho = 1,225 Kg / m^3$

$P_{mec} = \frac{1}{2} \rho A V_w^3 c_p$

➤ Potência máxima durante a semana

$v_{\max} = 22 km / h; \quad P_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot (0,006)^2 \cdot 6^3 \cdot 0,59 = 2,8 mW$

➤ Potência média durante a semana

$v_{med} = 7,95 km / h; \quad P_{med} = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot (0,006)^2 \cdot 2,21^3 \cdot 0,59 = 0,14 mW .$